ASTRONOMIJA

U REDAKCIJI
Dr. JOSIPA GOLDBERGA

DRUGO, PRERADENO IZDANJE

ZAGREB
1947

ASTRONOMIJA

ZA VII. RAZRED GIMNAZIJE

U REDAKCIJI

Dr. JOSIPA GOLDBERGA

DRUGO, PRERAĐENO IZDANJE

NAKLADNI ZAVOD HRVATSKE
ZAGREB
1947

Odobrilo Ministarstvo prosvjete
Narodne Republike Hrvatske

SADRŽAJ

NAPOMENA

Ovo je izdanje »Astronomije« prerađeno u smislu onih pobuda i želja, koje su prema iskustvu stečenom pri nastavi iznijeli nastavnici astronomije na srednjim školama.

Sva je historijska građa utkana u tekst tako, da ga oživljuje na onim mjestima, kojima po sadržaju odgovara.

Veće su promjene u samoj građi ove:

Glava o prividnom gibanju planeta premještena je na kraj I. dijela (osnovne pojave i pojmovi) i popunjena računanjem sinodičnog i sideričnog ophodnog vremena.

Zakon gravitacije može se prema sadašnjem nastavnom programu fizike u VII. razredu izvesti računski iz 3. Keplerova zakona, pa je odnosna glava u tom smislu prerađena.

Kod pomagala i metoda astrofizike dodane su kratke napomene o teoriji atoma i teoriji relativnosti.

Opširnije je obrađena paralaksa Sunca, pa je dodan prikaz metode prolaza Venere.

Izvedene su osnovne formule za računanje prividne i apsolutne veličine zvijezda stajačica.

Prikaz kosmogonije popunjen je kratkim osvrtom na najnoviji njezin razvoj.

Dodano je nekoliko izrađenih numeričkih primjera i 12 novih slika, među njima portreti velikih astronoma.

UVOD

ASTRONOMSKA SLIKA SVIJETA

Astronomija je nauka o nebeskim tijelima i pojavama.

Nebo se prvom, naivnom očigledu prikazuje kao velika polukugla, koja se kao svod nadvila nad ravnu Zemlju i nje se dotiče. Na tom svodu vidimo Sunce, Mjesec i zvijezde, povremeno i zvijezde repatice i krijesnice. Sva se ta nebeska tijela gibaju. Neka od zapaženih gibanja pokazala su već naivnom motriocu veliku pravilnost u vezi sa dnevnom izmjenom dana i noći, druga su nebeska gibanja zamršenija, pa ih je tek znanstveno motrenje moglo točno prikazati.

Razvitkom znanstvene astronomije, koji se zbio u zadnjih otprilike 3000 godina, shvaćanje nebeskih pojava i tijela daleko se odvojilo od naivnog očigleda. Nebo nije polukuglasti svod, nego mi sa Zemlje gledamo u *beskrajni svemir*. U tom velikom, beskrajnom svemiru (vasioni, univerzumu), koji danas proučava astronomija dalekozorom, fotografijom i raznim fizikalnim metodama, nalaze se nebeska tijela u ogromnim daljinama od nas i među sobom i gibaju se brzinama, koje daleko nadmašuju najveće brzine tijela na Zemlji. Nebeska su tijela ogromne kugle, sa malo izuzetaka neuporedivo veće od Zemlje, a užarena su do vrlo visokih temperatura.

Uporedo s upoznavanjem neba razvila se i spoznaja o tom, *što je Zemlja i kakav je njezin položaj u svemiru*. Neukom čovjeku, koji je živio prije više tisuća godina, bio je svijet onaj dio Zemlje, koji je poznavao. U nebeskim tijelima, koja su bila izvan njegova dohvata i utjecaja, gledao je božanstva, koja utječu na njegovu sudbinu. Ta sjajna nebeska tijela, mislio je, ne gibaju se samo *oko* njega, nego i *radi* njega; zvjezdoznancima, astrolozima bila je zadaća, da iz položaja nebeskih tijela čitaju ljudsku sudbinu.

Danas znamo, da je Zemlja jedno kuglasto tijelo, veliko doduše kao prostor stanovanja za ljude, ali sićušno zrnce u

svemiru. Ta Zemlja kruži oko Sunca, ogromne užarene kugle, na eliptičnoj putanji promjera oko 300 milijuna kilometara, izvršujući jedan ophod u godini dana, a pri tom se vrti oko svoje osi, izvršujući jedan okretaj u jednom danu. Oko istog našeg Sunca kruže kao Zemlja hiljade tijela, među kojima je Zemlja doduše peta po veličini, ali sve te hiljade tijela nemaju zajedno ni sedamstoti dio mase Sunca. Gibanje tijela u tom Sunčevu sustavu, koje se učinilo zamršenim, jer ga gledamo sa tijela, koje se i samo giba, toliko je razjašnjeno zakonima mehanike, da danas astronom proračunava i predviđa najvećom točnošću njihove buduće položaje.

Međutim to ogromno Sunce, koje je za nas izvor sve energije i svega života, samo je jedna od milijarda zvijezda, sunaca dijelom mnogo većih i žarkijih od našeg. Te milijarde zvijezda (zovu se zvijezde stajačice, jer im se radi goleme udaljenosti gibanje ne može zamijetiti), koje vidimo prostim okom i dalekozorom ili utvrđujemo fotografijom, čine jedan veliki sustav zvijezda, *galaktički sustav,* kojemu najdulji promjer iznosi preko sto tisuća godina svjetlosti, gdje godina svjetlosti iznosi oko deset bilijuna kilometara. U tom velikom galaktičkom sustavu razabira astronomija gibanja sa pravilnostima, koja ukazuju na jedan mehanizam. Ali neumorno pretraživanje svemira dalekozorom i fotografijom pokazalo je, da daleko izvan našeg galaktičkog sustava zvijezda postoje sustavi zvijezda poput našeg, istog stupnja veličine, u udaljenostima od milijuna godina svjetlosti, odakle nam se prikazuju kao blijede, za prosto oko nevidljive maglice. Takvih *vangalaktičkih maglica,* od kojih svaka predstavlja jedan veliki svijet sa milijardama sunaca, ima mnogo milijuna, a daljina najudaljenije, koja se mogla utvrditi, cijeni se na pola milijarde godina svjetlosti. Svi ovi svjetovi, sustavi zvijezda-sunaca, nijesu ukrućena materija, to su tvorbe, u kojima se sve giba golemim kosmičkim brzinama, tvorbe, koje se nalaze u živom razvoju, pa se zbivaju u njima fizikalni procesi gigantskih razmjera, za koje nema uporedbe na Zemlji. Taj razvoj, te fizikalne procese proučava savremena astronomija sredstvima fizike, mjereći i analizirajući svjetlost, ono jedino, što nam od tih dalekih tijela dolazi.

Sve ovo znanje novovjeke astronomije, ova velebna slika svemira, koju nam je astronomska nauka dala, sve to nije stečeno ni maštanjem, ni slobodnom filozofskom spekulacijom, nego sistematičnim motrenjem i mjerenjem i strogim zaključivanjem po metodama fizike i matematike.

Sto pokoljenja dalo je astronomsku nauku, jedno od najvećih djela ljudskoga uma. Ako nam astronomska slika svemira pokazuje, kako je čovjek fizički malen i neznatan, ona ujedno pokazuje i kako je umom moćan. Ali ta se moć ne temelji samo na sposobnostima i radu pojedinaca ili nekolicine, nego na povezanosti rada brojnih naroda, na udruženom stremljenju cijelog ljudskog roda.

ZNAČENJE ASTRONOMIJE

Od pradavnih su vremena potrebe praktičnog života i tehničkog iskorištavanja prirode davale snažan poticaj razvitku astronomije, pa je i danas astronomija prijeko potrebna kao osnova mnogim granama praktičnog života i tehnike. Mjerenje vremena, reguliranje ura i njihovo usklađivanje na cijeloj Zemlji zahtijeva stalnu astronomsku službu na brojnim zvjezdarnama. Kalendar se uređuje od najstarijih vremena do danas po astronomskim podacima. Pomorska plovidba zahtijeva točno određivanje mjesta, na kojem se brod nalazi. To se određivanje vrši astronomskim mjerenjima, pa se za potrebe pomorske plovidbe izdavaju astronomski godišnjaci sa potrebnim astronomskim podacima o gibanju i položaju nebeskih tijela u svakoj godini. Astronomska su mjerenja jedna od osnova premjera Zemlje i kartografije, pa je astronomija sastavni dio geodezije i geografije. Sve znanosti, koje se bave istraživanjem Zemlje, bilo u fizičkom pogledu, bilo u pravcu iskorištavanja njena blaga, upućene su na pomoć astronomije.

Društveni razvoj i napredak čovječanstva očitovao se na području znanosti ponajprije u astronomiji, koja je time bila lučonoša slobode misli u svim povijesnim razdobljima, kada su nove društvene snage razbijale okove starog sistema. Astronomija je u borbi protiv predrasuda i za slobodu misli bila jedno od najmoćnijih oružja, jer je izgrađivala svijest o stvarnom položaju Zemlje i čovjeka u svemiru i omogućila shvaćanje razvoja svemira na osnovi iskustva, bez vrhunaravnih principa.

Pojedincu donosi upoznavanje astronomije velike vrednote. Svojim preciznim i strogim metodama motrenja, veličanstvenim

razmjerima objekata i značajnim problemima astronomija nam daje svijest o umnoj snazi čovjeka, o mogućnostima neprekidnog, sve boljeg upoznavanja jedinstvene prirode, u kojoj se u vječitoj mijeni i razvitku očituju stalni prirodni zakoni.

I. DIO

OSNOVNE POJAVE I POJMOVI

1. ZVIJEZDE STAJAČICE I ZVIJEŽĐA

Tko sa nešto više pažnje motri noćno nebo, brzo će vidjeti, da zvijezde izlaze na istoku, uspinju se do jedne najviše točke na nebeskom svodu i zalaze na zapadu. Ogromna većina zvijezda pri ovom putu po nebeskom svodu ne mijenja međusobnoga položaja.

Zvijezde, nalazeći se ovako u stalnim međusobnim položajima, daju sliku kao da su prikovane na nebeskom svodu, a nebeski svod kao da se sa svim tim prikovanim zvijezdama zajedno giba. Zvijezde, koje imaju takvo stalno mjesto na nebeskom svodu, zovemo z v i j e z d a m a s t a j a č i c a m a.

Sjajnije se stajačice mogu spojiti u izvjesne likove (figure), koji se zovu z v i j e ž đ a ili k o n s t e l a c i j e. Ovo je spajanje stajačica u zviježđa izvršeno već u prastaro doba, a živa mašta tadašnjih motritelja neba vidjela je u ovim, po slučaju složenim likovima koje slike zemaljskih predmeta i stvorova, koje opet simbole prirodnih pojava te mitskih događaja i njihovih junaka. Tako su nastala imena većine zviježđa. Pridružujući zvijezde stajačice slabijeg sjaja kojem obližnjem zviježđu možemo cijelu nebesku sferu razdijeliti u onoliko dijelova, koliko ima zviježđa. Imenom zviježđa se tako obuhvata njegov osnovni lik zajedno sa slabijim stajačicama, koje se nalaze u onom dijelu neba. Stajačice u pojedinom zviježđu označuju se malim grčkim ili latinskim slovima, slabije brojevima. Najsvjetlije stajačice zviježđa označuju se prvim slovima grčkog alfabeta, ali imaju od starine i posebna imena, koja su manjim dijelom grčkog ili rimskog porijekla (na pr. Castor, Pollux, Prokyon, Sirius, Capella, Antares), a većim dijelom arapskog iz srednjeg vijeka (na pr. Betelgeuze, Rigel, Deneb, Mizar, Atair, Aldebaran).

Kako su zviježđa prva osnova za našu orijentaciju na nebu, vrlo je korisno upoznati glavna zviježđa, koja se vide u našim krajevima. Pri tom je glavno pomagalo *karta neba*. Na kraju ove knjige nalazi se šest karata neba. Uz karte je tumač i popis zviježđa sa latinskim i našim imenima.

Kod traženja zviježđa i pojedinih zvijezda prema karti neba osobito pomaže vučenje spojnih pravaca između već poznatih zvijezda i traženje novih zvijezda u produženju tih pravaca, *alignement* (alinjman). Linije, analogno u misli povučene na nebu, lukovi su glavnih krugova na nebeskoj sferi, koji spajaju zvijezde.

Orijentacija na našem nebu polazi najbolje od zviježđa *Velikog Medvjeda* (Ursa maior), nazvanog i Velika kola (Sl. 4.). Ovo se zviježđe nalazi na sjevernoj strani neba i sastoji od 7 glavnih zvijezda, od kojih 4 (α, β, γ, δ) čine trapez (kotači kola), a ostale 3 krivu crtu (ruda). Dalje nas vodi alignement: produžimo li spojnicu stražnjih kotača α, β preko α za peterostruki njihov razmak, onda dolazimo do zvijezde α *Maloga Medvjeda* (Ursa minor), koji se sastoji također od 7 glavnih zvijezda, poredanih slično kao zvijezde Velikog Medvjeda. Zvijezda α Malog Medvjeda zove se *Sjevernjača* ili *Polarna zvijezda* (stella polaris), jer ona obilježava za prosto oko dovoljnom točnošću sjeverni nebeski pol (vidi I. 3). U udaljenosti od Polarne zvijezde jednakoj kao i Veliki Medvjed, ali na suprotnoj strani, vidimo zviježđe *Kasiopeje*. Ovo se zviježđe sastoji uglavnom od pet zvijezda, koje daju oblik slova W.

Pošavši od ovih triju zviježđa sjevernog neba, koja se vide na svakoj od naših karata sjevernog neba, ostala je zviježđa lako naći pomoću alignementa.

Ako u zviježđu Kasiopeje spojimo redom zvijezde β, γ, δ (vidi kartu neba V.), doći ćemo do zviježđa *Perzeja*, luka od 7 svijetlih zvijezda. Od najsjajnije zvijezde α Perzeja u sredini tog luka, na protivnu stranu od Sjevernjače nalazi se druga zvijezda po sjaju Algol ili β Perzeja. Ako pak spojimo Sjevernjaču sa β Kasiopeje i produžimo još za jednu dužinu, dolazimo do zvijezde α u *Andromedi;* to zviježđe tvore 3 glavne zvijezde u podjednakim razmacima do α Perzeja. α Andromede je jedan vrh u četverokutu *Pegazovu,* donekle nalik na Velikog Medvjeda.

Na drugu stranu od Perzeja nalazimo peterokut *Kočijaša (Auriga)* sa najsjajnijom zvijezdom C a p e l l o m. Nasuprot Capelli u tom peterokutu je već zvijezda β *Bika (Taurus),* kojemu je najsjajnija zvijezda α ili A l d e b a r a n kraj skupa zvijezda Hijade; između Aldebarana i Algola je poznati skup od 7 zvijezda Vlašići ili Plejade. Na drugu stranu je karakteristični četverokut sjajnih zvijezda *Oriona,* sa tri sjajne zvijezde u pâsu Orionovu (»Kosci«). Još jedamput dalje nalazimo najsjajniju zvijezdu uopće na nebu

S i r i u s ili α *Velikog Psa.* Sa najsjajnijom zvijezdom Oriona B e t e l g e u z e i *Malog Psa* P r o k y o n o m tvori Sirius istostrani trokut. Capella, Aldebaran, R i g e l (β Oriona), Sirius, Prokyon tvore sa P o l l u x o m (β *Blizanaca)* krasan šesterokut vrlo sjajnih zvijezda, koji u sebi sadrži još crvenkasti Betelgeuze.

Na protivnoj strani Velikog Medvjeda nego što je Sjevernjača nalazimo karakteristični srp zvijezda u *Lavu,* kojemu je držak u najsjajnijoj zvijezdi tog zviježđa R e g u l u.

Ruda kola Velikog Medvjeda pokazuje na zviježđe *Bootes* sa sjajnim A r k t u r o m. Do njega je krasan vijenac zvijezda *Sjeverne krune (Corona Borealis),* od kojeg preko karakterističnog četverokuta *Herkula* dolazimo do V e g e, najsjajnije zvijezde u *Liri* i iza Siriusa najsjajnije zvijezde na cijelom nebu. Kraj nje je *Labud* ili Sjeverni Krst sa D e n e b o m, koji se nalazi već kraj Pegaza. Ispod njega je *Orao* sa A t a i r o m.

Između Lava i Bootesa nešto niže je zviježđe *Djevice*, u kojemu je najsjajnija zvijezda S p i c a; do nje su dvije svijetle zvijezde *Vage,* pa sasvim na južnom nebu nad horizontom *Škorpion* sa crvenim A n t a r e s o m u sredini. Na istok od Škorpiona, a ispod Orla je *Strijelac.* Ispod četverokuta Pegazova sjaji ljeti sasvim na jugu F o m a l h a u t, α Južne Ribe.

To su glavna zviježđa našeg neba, sa 15 najsjajnijih zvijezda.

PREGLED OSTALIH NEBESKIH TIJELA. Suncem, Mjesecom i zvijezdama stajačicama nije iscrpeno sve, što vidimo na nebu bilo prostim okom, bilo dalekozorom.

Razmjerno vrlo mali broj zvijezda — stari i srednji vijek ih je poznavao samo pet — nema stalnoga mjesta na nebeskom svodu. Ove se zvijezde zovu p l a n e t i ili *zvijezde lutalice.* One putuju iz zviježđa u zviježđe prevaljujući pri tom naoko dosta zamršene putove.

K o m e t i ili r e p a t i c e su nebeska tijela, koja imaju s planetima to zajedničko, što putuju po nebeskom svodu. Ime su dobili, što gdjekad imaju uza se svijetao trak, koji naliči na dugu, raspuštenu kosu ili rep.

M e t e o r i su sjajna, zvjezdolika tijela, koja brzo prelete preko noćnoga neba, ostavljajući katkad za sobom svijetli trag, pa iščeznu.

M a g l i c e su maglovite pjege raznih, često i nepravilnih oblika. Ima ih vrlo mnogo, ali malo koja se može vidjeti prostim okom ili malim dalekozorom.

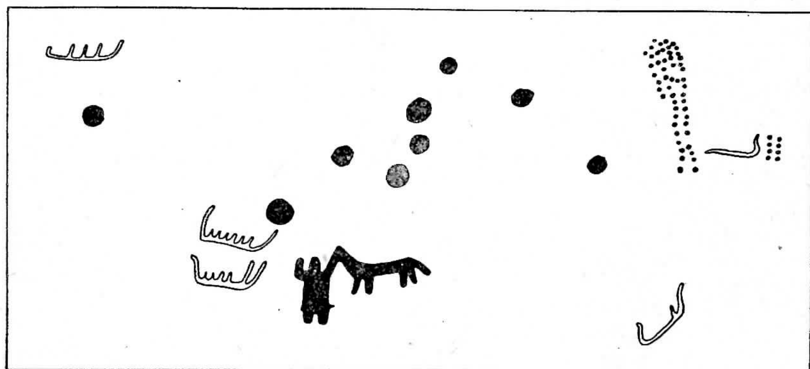
Ima maglovitih pjega, koje se dalekozorom razrešuju u s k u p velikog broja zvijezda stajačica vrlo slaba sjaja.

Najveličanstveniji skup je K u m o v s k a S l a m a ili M l i j e č n i P u t. Kumovska je Slama razapeta preko neba kao nepravilno izrezana vrpca, koja svjetluca bjelkasto-plavom svjetlošću. Dalekozori pokazuju, da se ona sastoji od bezbroja zvijezda slaba sjaja.

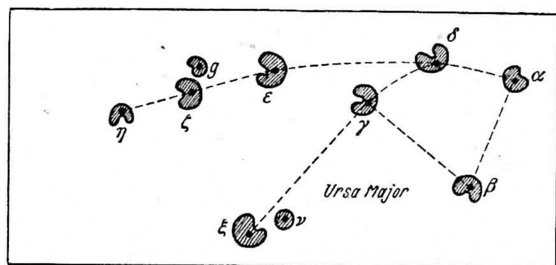
Već u najstarije doba čovječanstva dali su uvjeti opstanka i tadanji primitivni proizvodni odnosi poticaj za motrenje neba i utvrđivanje prvih osnova astronomskog znanja. Nomadskim narodima, kojima je stočarstvo osnova opstanka, na dugim je putovanjima kroz puste krajeve zvjezdano nebo omogućilo

orijentaciju i pastiri su vjerojatno bili prvi istraživači zvijezda i njihovih gibanja. Ratarskim narodima, kojima je sjedište bilo stalno, Sunce je onaj moćni faktor, o kojemu zavisi uspjeh proizvodnje plodina, pa su oni postali istraživačima godišnjeg gibanja Sunca, koje određuje godišnja doba i promjene vremena. Glavne svetkovine vezale su se od prastarih vremena uz godišnji ritam gibanja Sunca, osnova su im prirodne pojave na nebu i Zemlji, a vjerska su im obilježja data kasnije. Morskoj je plovidbi i u najstarije doba, kao i danas, prijeko potrebno za orijentaciju poznavanje nebeskih tijela i njihovih gibanja. Tako ulaze narodi staroga vijeka, naročito *Babilonci* i *Egipćani* u historiju sa znatnim poznavanjem astronomskih činjenica, kojih otkriće pada u prethistorijske početke kulture.

U koje je prastaro doba čovjek već pomno motrio zvijezde, pa ih slagao u zviježđa, pokazuju slike iz kamenog doba (Sl. 1.).



Sl. 1 a) Pećinska slika iz kamenog doba sa zviježđem Kasiopeje



Sl. 1 b) Slika na fosilu iz kamenog doba sa zviježđem Velikog Medvjeda

2. NEBESKA SFERA

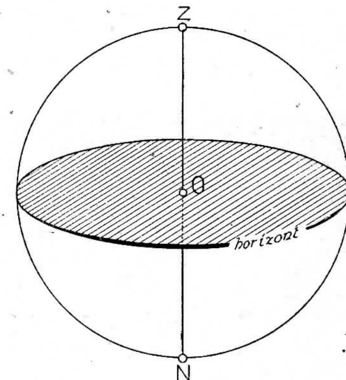
Iziđemo li na potpuno ravan dio Zemlje ili na morsku pučinu, gdje nam vidik nije ni na koju stranu ograničen ni zgradama ni brdima, onda nam se *nebeski svod* prikazuje kao polukugla, koje je tjemena točka vertikalno nad našom glavom, dok joj se kružni donji rub upire o Zemlju, pa kao da ograničuje naš vidik unaokolo jednom kružnicom.

Kružnica, u kojoj se polukugla nebeskog svoda sastaje sa vodoravnom ravninom, položenom kroz naše stajalište (Sl. 2, O), zove se h o r i z o n t[1] ili o b z o r.

Ravnina položena (vodoravno (»horizontalno«)) našim stajalištem je *ravnina horizonta.*

Tjemena točka nebeskoga svoda, kojom ide vertikalni pravac podignut iz našeg stajališta, zove se z e n i t[2] (Sl. 2, Z).

Svatko, tko je prošao prve stupnjeve školovanja, zna, da »nebeski svod« nije u stvari tijelo kuglaste površine, nego da mi, gledajući u vedro nebo, gledamo zapravo u beskrajne daljine svemira. Zbog ogromne daljine, u kojoj se nalaze nebeska tijela, naoko su nam sva jednako daleko i stoga nam se čine razmještena po kugli, a u središtu te kugle nalazimo se mi. Kad bi zemlje ispod nas nestalo, ili kad bi bila potpuno prozirna, mi bismo i u svima smjerovima ispod naših nogu, ispod ravnine našeg horizonta gledali u beskrajne daljine svemira i svemir bi i na onu stranu dao sliku kuglasto omeđenog prostora.



Sl. 2

Prema tome se nebeski svod ne završava horizontom, nego se ispod horizonta nastavlja i nadopunjuje do potpune kugle, n e b e s k e s f e r e.[3] Nebeski svod ima dakle za svakog motritelja jednu v i d l j i v u p o l u k u g l u *(hemisferu[4])* nad horizontom i jednu n e v i d l j i v u ispod horizonta.

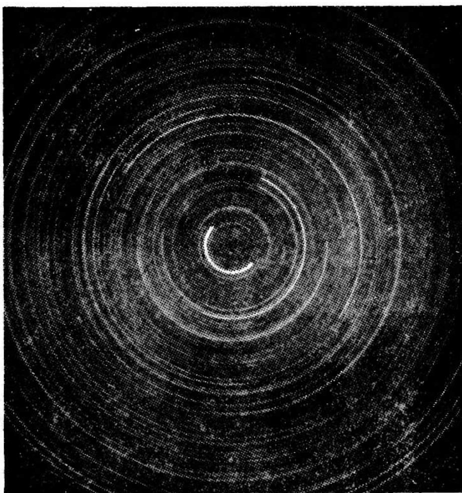
[1] Grčki, particip glagola horizo = omeđiti, dakle »koji omeđuje, ograničuje«.
[2] Riječ arapskog porijekla.
[3] Sfaira, grčki = kugla.
[4] hemi-, grčki = polu-

Vertikala iz našeg stajališta, produžena ispod naših nogu, prolazi tjemenom točkom nevidljive hemisfere neba, koja se zove n a d i r[1] (Sl. 2, N). Zenit i nadir su prema tome krajevi onog promjera nebeske sfere, koji stoji okomito na ravnini horizonta.

3. DNEVNA VRTNJA NEBESKE SFERE

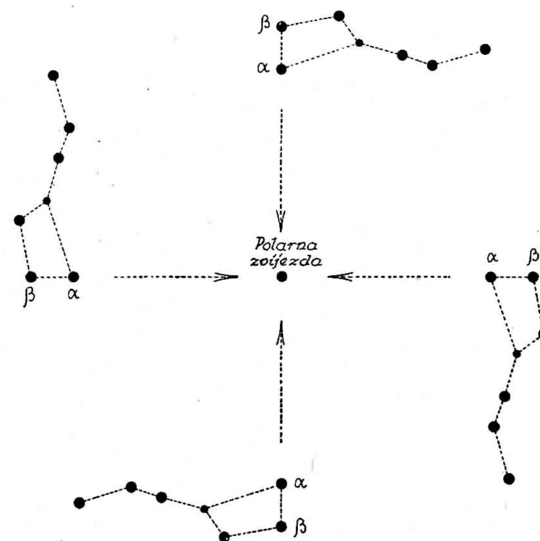
Upamtimo koju svjetliju zvijezdu, koje smo izlaz gledali jedne večeri, pa zabilježimo vrijeme, kad se ona pojavila na horizontu (ili možda nad sljemenom jedne gore ili krovom jedne kuće). Ako sutradan u isto vrijeme stanemo na isto mjesto, vidjet ćemo, da *ista zvijezda iza 24 sata izlazi točno na istom mjestu horizonta.* Ponavljajući takva opažanja na što više zvijezda zaključit ćemo, da zvijezde izvršuju dnevno jedan ophod po nebeskom svodu, koji ih vraća nakon jednog dana na isto mjesto.

Oblik tog dnevnog puta zvijezda upoznat ćemo točnije, ako motrimo zvijezde na sjevernom dijelu neba. Zvijezde u izvjesnom dijelu sjevernog neba, iako se stalno gibaju, u svako su doba noći vidljive, one niti izlaze, niti zalaze. A zvijezda α Malog Medvjeda, Sjevernjača, kroz cijelu noć stoji, za prosto oko nepomično, na istom mjestu. Ostale zvijezde — ne mijenjajući svoje prividne daljine od Sjevernjače — opisuju prividno krugove oko nje, uspinjući se od njezine istočne strane nad nju, spuštajući se onda na zapadnu stranu, a odanle ispod nje opet na istočnu stranu. Što je koja zvijezda dalja od Sjevernjače, to je veći opisani krug. Sl. 3, fotografija noćnog neba oko Sjevernjače, dobivena ekspozicijom kroz 12 sati, pokazuje polovice tih krugova. Najsvjetliji polukrug je trag ubilježen od Sjevernjače, najsvjetlije zvijezde u tom dijelu neba. Sl. 4. pokazuje zviježđe Velikog Medvjeda u 4 položaja, koje zauzima pri kruženju oko Sjevernjače.



Sl. 3

[1] Riječ arapskog porijekla.



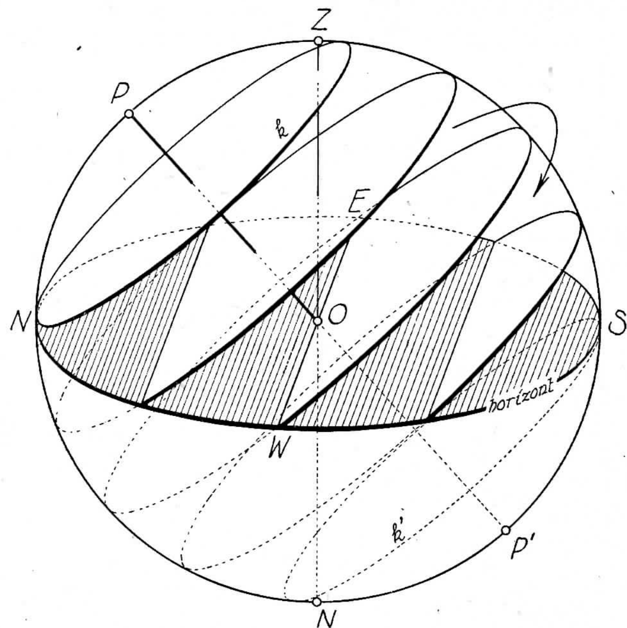
Sl. 4

Kad udaljenost jedne zvijezde od Sjevernjače premašuje visinu Sjevernjače nad horizontom, onda kružno gibanje vodi zvijezdu ispod horizonta — ona zalazi i opet izlazi, a jedan je dio kruga na nevidljivoj hemisferi neba.

Mjerenje pokazuje, da nepomična točka na nebu, oko koje zvijezde opisuju krugove, nije točno u Sjevernjači, nego blizu nje (udaljena otprilike dva Mjesečeva promjera). Ta se točka zove n e b e s k i p o l. Zbog blizine polu Sjevernjača se i zove Polarna zvijezda.

Pravac, koji spaja naše stajalište (središte nebeske sfere) sa nebeskim polom, zove se p o l a r n a o s. Polarna je os nepomična, jer spaja dvije nepomične točke, naše stajalište O i nebeski pol P (Sl. 5.).

Prema svemu gore izloženom dnevno prividno gibanje zvijezda daje ovu sliku (Sl. 5.):



Sl. 5

a) Sve zvijezde opisuju u toku jednog dana na nebeskoj sferi potpune krugove u smjeru od istoka prema zapadu.

b) Ravnine svih ovih krugova okomite su na polarnoj osi (Sl. 5, OP), među sobom su paralelne, a krugovi imaju svoja središta u polarnoj osi.

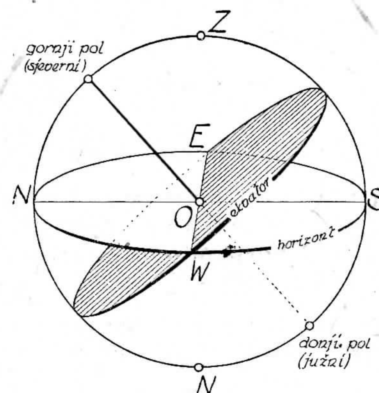
c) Zvijezde unutar kruga k (Sl. 5.), opisanog oko nebeskog pola tako, da se dodiruje horizonta, stalno su na nebu, iako su po danu nevidljive. Ove se zvijezde zovu c i r k u m p o l a r n e.

d) Zvijezde izvan toga kruga poniru jednim dijelom svog dnevnog kruga ispod horizonta, njihov se krug dijeli na *vidljivi luk* nad horizontom (Sl. 5, deblje izvučen) i *nevidljivi luk* pod horizontom (Sl. 5, isprekidanom crtom).

e) Čini nam se, da se cijela nebeska sfera sa svima zvijezdama i ostalim nebeskim tijelima *vrti oko polarne osi* od istoka prema zapadu izvršujući jedan okretaj u jednom danu.

f) Ako polarnu os produžimo od našeg stajališta *O* (Sl. 5.) ispod horizonta, onda ona pogađa nevidljivu nebesku hemisferu u drugom nebeskom polu P'. Prema tome na nebeskoj sferi su 2 pola: *gornji,* vidljivi pol nad horizontom, *donji,* nevidljivi ispod horizonta (Sl. 6.). U našim je krajevima gornji pol na sjevernom nebu. On je *sjeverni* nebeski pol, a drugi, nevidljivi je *južni.*

Kaošto na vidljivoj nebeskoj hemisferi imamo unutar izvjesnog kruga oko pola cirkumpolarne zvijezde, koje su uvijek nad našim horizontom, tako se nalaze na nevidljivoj hemisferi a n t i c i r k u m p o l a r n e zvijezde (unutar kruga k', Sl. 5), koje ne izlaze nikad iznad našeg horizonta, te se u našim krajevima nikad ne vide.



Sl. 6

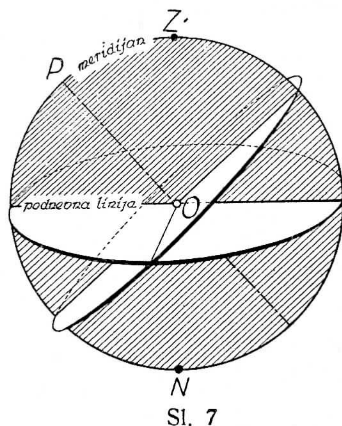
Vertikalna ravnina, položena našim stajalištem, nebeskim polom i zenitom siječe nebeski svod u glavnom krugu, koji se zove m e r i d i j a n[1] (podnevni krug) (Sl. 7.).

Ravnina meridijana siječe ravninu horizonta u pravcu, koji se zove p o d n e v n a l i n i j a.

Točka, u kojoj vidljivi luk dnevnog puta jedne zvijezde siječe nebeski meridijan, najviša je točka toga luka. Nevidljivi luk siječe meridijan u točki, koja se nalazi najniže ispod horizonta.

[1] meridies lat. = podne

Za nebesko tijelo, kad pri dnevnom gibanju prolazi kroz meridijan, velimo, da ono kulminira[1] ili da je u kulminaciji.



Sl. 7

Sl. 8

Kulminacija u vidljivom luku zove se *gornja kulminacija*. (Sl. 8, K_g). U gornjoj kulminaciji nebesko tijelo dostigne u tom danu najveću visinu nad horizontom. Kulminacija u nevidljivom luku je *donja kulminacija* (Sl. 8, K_d).

Kad je Sunce pri svom dnevnom gibanju u gornjoj kulminaciji, onda je *podne* i tada sjena vertikalnih predmeta pada točno u podnevnu liniju. Odatle toj liniji i ime.

Kod cirkumpolarnih zvijezda i gornja i donja kulminacija su nad horizontom, gornja iznad pola, donja ispod pola.

Kod anticirkumpolarnih zvijezda obje su kulminacije ispod horizonta.

Podnevna linija siječe horizont u dvije točke, od kojih je jedna *sjeverna točka* (N), a druga *južna točka* (S) (Sl. 6.). Pravac u ravnini horizonta, koji je okomit na podnevnoj liniji, siječe horizont u istočnoj točki (E) i zapadnoj točki (W). Ove 4 točke dijele horizont na 4 jednaka dijela po 90 lučnih stupnjeva.

N, S, E, W su internacionalno usvojeni znaci za strane svijeta prema engleskim nazivima North = sjever, South = jug, East = istok, West = = zapad.

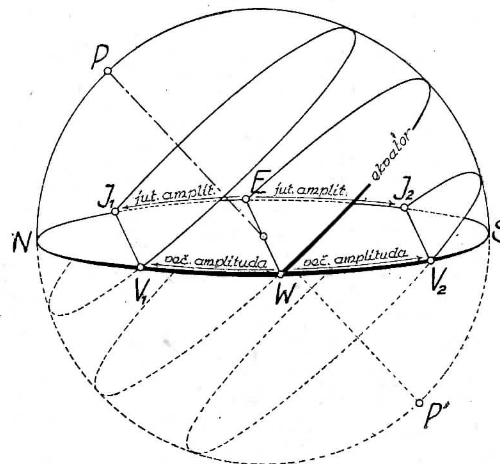
Daljina izlazne točke nebeskog tijela (J_1, J_2) od istočne E (Sl. 9.) ili njoj jednaka daljina zalazne točke (V_1, V_2) od zapadne W *zove se jutarnja,* odnosno *večernja amplituda.*

[1] culmen lat. = tjeme, vrhunac

4. HORIZONTSKE KOORDINATE

NEBESKE KOORDINATE. Koliko za točno upoznavanje položaja pojedinih zvijezda stajačica, toliko i za proučavanje gibanja nebeskih tijela potreban nam je način, kako da pojedine točke na nebeskom svodu obilježimo. U tu nam svrhu služe nebeske koordinate.

Koordinatama se općenito zovu brojevi, kojima je položaj jedne točke bilo u prostoru, bilo u ravnini, bilo na kojoj drugoj plohi tako obilježen, da možemo ovu točku, kad god nam treba, opet naći.



Sl. 9

Položaj točke u *ravnini* određuje se, kako uči geometrija, apscisom i ordinatom, koje nam daju udaljenost jedne točke od 2 osnovna pravca.

Položaj točke na površini *kugle* može se odrediti također dvjema koordinatama. Pri određivanju položaja točke koordinatama na kugli polazimo od jednog glavnog kuglinog kruga, koji je za te koordinate *osnovni krug,* i od jedne *stalne točke na tom osnovnom krugu.* (Sl. 10).

Kuglin promjer okomit na ravnini osnovnog kruga zove se *os;* os spaja dvije točke kugline površine *P, P,* koje su »*polovi*« osnovnog kruga.

Krugovi kugle paralelni sa osnovnim krugom su »*paralelni krugovi*«; glavni krugovi položeni polovima su »*okomiti krugovi*«, jer oni stoje okomito na osnovnom krugu.

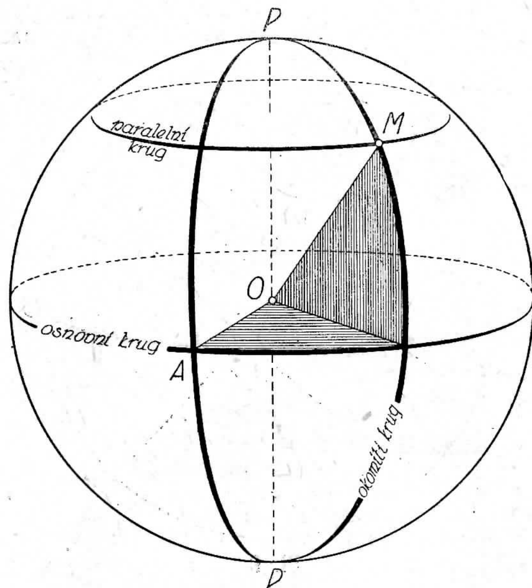
Osnovni krug sa osi i polovima čini jedan *koordinatni sistem.*

Pri određivanju položaja nebeskih tijela na nebeskoj sferi služimo se različitim koordinatnim sistemima prema tome, koji glavni nebeski krug odaberemo kao osnovni krug koordinatnog sistema. Glavni nebeski koordinatni sistemi jesu:

a) K o o r d i n a t n i s i s t e m h o r i z o n t a, u kojem je osnovni krug horizont, a os vertikala, koja ide zenitom i nadirom.

b) K o o r d i n a t n i s i s t e m e k v a t o r a, u kojem je osnovni krug ekvator, a os polarna os, koja ide sjevernim i južnim nebeskim polom.

Nebeske koordinate određujemo uvijek kao kutove između pravaca, povučenih iz našeg stajališta (središta nebeske sfere) prema pojedinim točkama nebeske sfere.



Sl. 10

KOORDINATNI SISTEM HORIZONTA. Kad izađemo na mjesto sa slobodnim vidikom i hoćemo da na nebu potražimo jednu nama poznatu zvijezdu, mi ćemo najprije odrediti, na koju stranu svijeta treba da gledamo, odredit ćemo dakle najprije horizontalni smjer, u koji ćemo gledati. Kad smo horizontalni smjer gledanja odredili, podignut ćemo oko ili dalekozor u visinu dotle, dok ugledamo traženu zvijezdu.

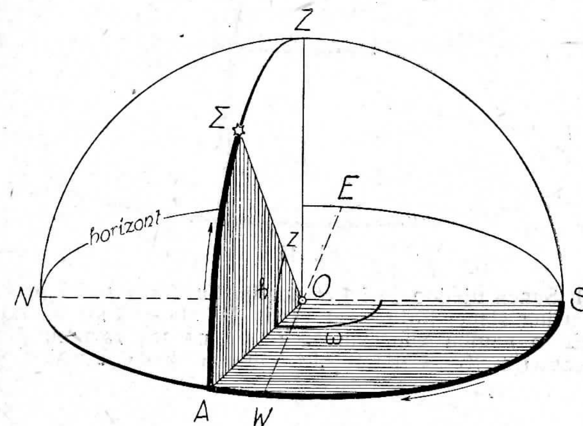
Na jednaki način određujemo položaj jedne zvijezde *horizontskim koordinatama*. Kroz zvijezdu Σ povučemo iz zenita *Z* vertikalni krug, v e r t i k a l, koji siječe horizont u nožištu *A* (Sl. 11.). Odredit ćemo sada *horizontalni kut* AOS, za koji moramo okrenuti pravac gledanja, odnosno dalekozor, da od južne točke horizonta *S* dođemo do nožišta vertikala *A*.

Taj kut, označen sa ω, zove se a z i m u t.

Zatim ćemo odrediti *vertikalni kut* ΣOA, za koji treba promijeniti pravac gledanja, odnosno dalekozora, da od nožišta *A* dođemo do zvijezde Σ.

Taj kut, označen sa *h*, zove se v i s i n a.

A z i m u t o m ω i v i s i n o m *h* određen je položaj zvijezde; azimut i visina nebeskog tijela njegove su h o r i z o n t s k e k o o r d i n a t e.



Sl. 11

Azimut se broji od južne točke horizonta smjerom zapad — sjever — istok od 0° do 360°. Visina se broji od horizonta prema zenitu od 0° do 90°.

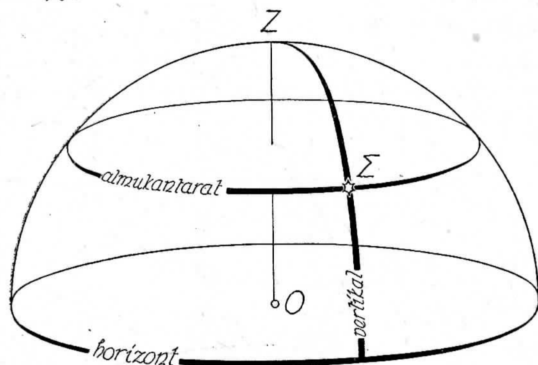
Mjesto visine h služi često za određivanje položaja nebeskog tijela kut z = ZOΣ (Sl. 11.), koji visinu nadopunjuje do 90°. Ovaj se kut zove *zenitna udaljenost (zenitni razmak)*, jer on određuje kutnu udaljenost nebeske točke od zenita.

Azimut točke S na horizontu je 0° ili 360°, točke W 90°, točke N 180°, točke E 270°. Sve točke na istom vertikalu imaju jednaki azimut. I južni i sjeverni dio meridijana su vertikali, južni s azimutom 0°, sjeverni s azimutom 180°.

Sve točke na horizontu imaju visinu 0°, zenit ima visinu 90°. Ako spojimo sve točke, koje imaju jednaku visinu nad horizontom, dobijemo krug paralelan sa horizontom, koji se zove v i s i n s k a p a r a l e l a ili a l m u k a n t a r a t (Sl. 12). U svakoj točki nebeske sfere sijeku se po jedan vertikal i jedan almukantarat.

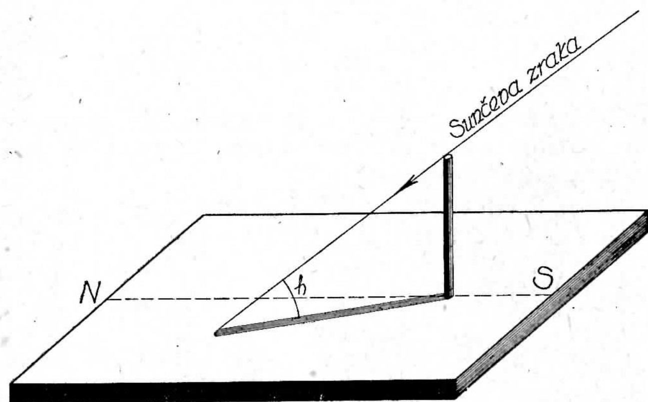
Visina nebeskog tijela pri izlazu je jednaka nuli, onda do kulminacije neprestano raste, u kulminaciji dostigne svoju najveću vrijednost, a onda opada do zalaza, kada je opet jednaka nuli.

Kod cirkumpolarnih zvijezda visina je najmanja u donjoj, najveća u gornjoj kulminaciji.



Sl. 12

Visina h Sunca ujedno je i kut nagiba Sunčevih zraka prema ravnini horizonta. Dužina sjene, koju baca vertikalni stup (štap) na horizontalnu ravninu, zavisi o nagibu Sunčevih zraka prema toj ravnini, prema tome o visini h Sunca (Sl. 13). Sjena će biti najkraća, kada je visina Sunca najveća.

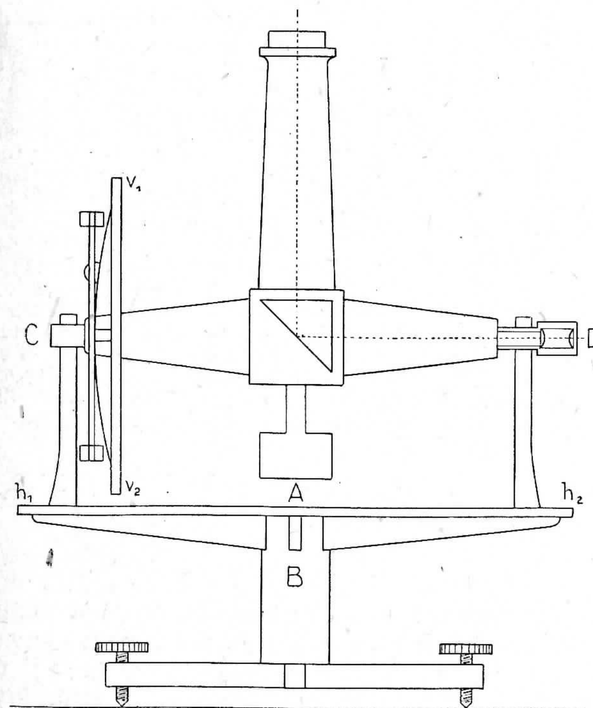


Sl. 13

Pomoću takvog vertikalnog stupa i njegove sjene u horizontalnoj ravnini moguće je dakle odrediti po dužini sjene čas kulminacije Sunca, jer je tada sjena najkraća. Kako je Sunce u času kulminacije u meridijanu, sjena vertikalnog stupa pada tada točno u podnevnu liniju, te se može po sjeni odrediti sjeverni i južni smjer.

Na sjeni vertikalnog stupa osniva se najstarija astronomska sprava, *gnomon*. Po gnomonu su astronomi staroga vijeka mogli izvjesnom točnošću odrediti dane solsticija i ekvinokcija, duljinu godine, podnevnu liniju, pa i priklon ekliptike (vidi I. 9).

UNIVERZALNI INSTRUMENT. Dalekozor postavljen tako, da se može vrtjeti oko vertikalne i oko horizontalne osi, a ima uređaj za mjerenje kutova pri objema vrtnjama, zove se *univerzalni instrument* ili *altazimut*. Ako takav dalekozor vrtimo oko vertikalne osi, onda se mijenja azimut točke, na koju je uperen; ako ga vrtimo oko horizontalne osi, mijenja se visina. S takvim se dalekozorom mogu prema tome određivati horizontske koordinate nebeskih tijela.



Sl. 14

Slika 14. pokazuje univerzalni instrument u presjeku. Dalekozor se vrti oko vertikalne osi AB i horizontalne CD. Koliko smo dalekozor okrenuli u visini, možemo odčitati na stupanjskoj

razdiobi vertikalnoga kruga v_1 v_2, a koliko u azimutu, na razdiobi horizontalnog kruga h_1 h_2. Okular dalekozora je sa strane (kod *D*), a svjetlost dolazi od objektiva do okulara kroz šuplju horizontalnu osovinu, odbivši se na hipotenuznoj plohi pravokutne staklene prizme.

Dalekozori univerzalnih instrumenata nijesu veliki.

UREĐAJ ZA VIZIRANJE. Dalekozor, kojim hoćemo vršiti astronomska mjerenja, mora imati »*uređaj za viziranje*«, t. j. točka, na koju je uperen, mora biti oštro obilježena jednim znakom u dalekozoru. Za tu se svrhu umetne u cijev okulara jedan okvir na ono mjesto, gdje je žarište objektiva, i na tom okviru razapne »*nitni križ*«, t. j. križ od dviju niti paučine, koje se okomito presijecaju i kojih ravnina treba da prolazi žarištem objektiva (Sl. 15, *ab* i *cd)*.

Sl. 15

Sjecište ovih niti namjesti se što točnije u spojnicu središta objektiva i okulara. Pravac, koji spaja sjecište nitnog križa sa središtem objektiva, predstavlja optičku os dalekozora. Kako u žarištu objektiva nastaje i slika nebeskog tijela, to okularom vidimo, kao da su na istom mjestu, i sliku nebeskog tijela i nitni križ. »Vizirati«, na pr. na jednu zvijezdu stajačicu, reći će uperiti dalekozor na tu zvijezdu tako, da njena slika pada točno u sjecište nitnog križa.

Ako se hoće mjeriti mali razmaci na nebu, onda uz čvrsti okvir sa nitnim križem ima još pomični okvir sa jednom ili više niti, koje su razapete paralelno s jednom od čvrstih niti (Sl. 15, *ef paralelno sa cd)*. Vijkom (»mikrometarski vijak«) [Sl. 15] se miče pomični okvir tako, da pomična nit pređe onaj razmak, koji hoćemo izmjeriti. Po tome, koliko smo za pomak morali okretati mikrometarski vijak, možemo odrediti razmak na nebu.

5. EKVATORSKE KOORDINATE

NEBESKI EKVATOR. Glavni krug nebeske sfere, kojega ravnina ide našim stajalištem i stoji okomito na polarnoj osi, zove se n e b e s k i e k v a t o r[1] (Sl. 6.). Nebeski ekvator siječe horizont u *istočnoj* i u *zapadnoj točki;* horizontom je razdijeljen na vidljivi polukrug nad horizontom i nevidljivi pod horizontom.

Nebesko tijelo, koje se nalazi u ekvatoru, ostaje pri dnevnoj vrtnji nebeske sfere u ekvatoru, a vidljivi mu je luk jednak nevidljivom.

[1] lat. aequus = jednak
aequator = koji izjednačuje

Nebeska sfera razdijeljena je ekvatorom na *sjevernu nebesku hemisferu,* na kojoj je sjeverni nebeski pol, i na *južnu nebesku hemisferu.*

KOORDINATNI SISTEM EKVATORA. U koordinatnom sistemu horizonta, koji smo razmatrali u prethodnoj glavi, mijenjaju koordinate pri dnevnoj vrtnji nebeske sfere sva nebeska tijela. Za proučavanje onih gibanja, koja imaju nebeska tijela mimo dnevne vrtnje nebeske sfere, potreban je koordinatni sistem, u kojemu dnevna vrtnja nebeske sfere ne utječe na koordinate nebeskih tijela.

Sl. 16

Mi znamo, da pri dnevnoj vrtnji nebeske sfere zadržava stalno svoj položaj polarna os, oko koje se nebeska sfera vrti, a prema tome i ravnina ekvatora, koja je na toj osi okomita. Stoga ćemo kao osnovni krug koordinatnog sistema uzeti *nebeski ekvator, polarnu os* kao os, a sjeverni i južni *nebeski pol* kao polove toga sistema. U ovom *koordinatnom sistemu ekvatora* je ekvator prema nebeskim polovima i polarnoj osi u jednakom položaju kao u sistemu horizonta horizont prema zenitu, nadiru i vertikalnom pravcu.

Iz pola P (Sl. 16.) povučemo kroz zvijezdu Σ okomito na ekvator krug PΣD, koji ekvator siječe u točki D. *Udaljenost zvijezde od ekvatora,* luk ΣD, izražena pripadnim središnjim kutom *δ u stupanjskoj mjeri,* zove se deklinacija zvijezde. Krug PΣD zove se deklinacijski ili satni krug. *Kutna udaljenost satnog kruga* zvijezde Σ *od meridijana* NPES, izražena *u stupanjskoj mjeri* središnjim kutom *t,* koji pripada ekvatorskom luku DE, zove se satni kut zvijezde.

Položaj je zvijezde prema tome potpuno određen njenom *deklinacijom δ i satnim kutom t.*

Deklinacija se broji od ekvatora do pola od 0° do 90°, i to od ekvatora na sjever pozitivno (+), na jug negativno (—).

Satni kut se broji od meridijana na zapad, t. j. *u smjeru dnevne vrtnje nebeske sfere* od 0° do 360° unaokolo oko cijelog ekvatora.

Sve točke nebeske sfere, koje imaju istu deklinaciju, nalaze se na krugu paralelnom sa ekvatorom, koji se zove (deklinacijska) *paralela.* Sve točke, koje u jednom času imaju jednaki satni kut, nalaze se na istom deklinacijskom krugu, koji se stoga i zove *satnim krugom.*

Dnevna vrtnja neba vodi nebeska tijela po krugovima paralelnim sa ekvatorom; prema tome se *pri dnevnoj vrtnji neba ne mijenja deklinacija nebeskoga tijela.*

Naprotiv satni kut se dnevnom vrtnjom mijenja. Satni je kut u času gornje kulminacije 0°, u donjoj kulminaciji 180°. Kako je dnevna vrtnja neba oko polarne osi jednolika, *satni kut je upravno razmjeran sa vremenom,* koje je prošlo od gornje kulminacije dotičnog nebeskog tijela. Stoga se *satni kut može, osim stupnjevima, izraziti i vremenom, koje je prošlo od gornje kulminacije.* Kako je pri jednom potpunom okretaju nebeske sfere 360° prevaljeno u 24^h, a 360° : 24 = 15°, to satni kut od 15° izražen u vremenu iznosi 1^h; ako je na pr. satni kut jedne zvijezde u času motrenja t = 72°45′ u stupanjskoj mjeri, onda on u vremenskoj mjeri iznosi 72°45′ : 15 = 4^h51^m, a to znači, da su od gornje kulminacije te zvijezde do časa motrenja prošla 4^h51^m[1].

Da bi, kao deklinacija, i druga ekvatorska koordinata bila neovisna o dnevnoj vrtnji nebeske sfere, treba na ekvatoru odabrati *točku, koja ima stalan položaj na nebu,* pa ne mijenja

[1] Po satnom kutu zvijezde stajačice mjereno vrijeme ne slaže se točno sa građanskim mjerenjem vremena; o tom u glavi II, 1.

svog položaja prema stajačicama, i od te točke brojiti kut, koji će odrediti položaj satnih krugova.

Kao stalna točka na ekvatoru, koja je stalna i na nebeskoj sferi, te se zajedno s njom giba u dnevnoj vrtnji, odabrana je proljetna točka (znak ♈)[1].

Proljetna točka je sada u zviježđu Riba, a nalazi se u satnom krugu zvijezde *β* u zviježđu Kasiopeje, koja čini kraj slova *W.* O gibanju same proljetne točke bit će riječ u glavi III, 8.

Položaj satnog kruga jednog nebeskog tijela može se sada odrediti njegovom kutnom udaljenošću od proljetne točke.

Kutna udaljenost satnog kruga zvijezde Σ (sl. 16.) *od proljetne točke* ♈, izražena u stupanjskoj mjeri središnjim kutom *α*, koji pripada ekvatorskom luku ♈D od proljetne točke do tog satnog kruga, zove se rektascenzija (*α*).

Rektascenzija se broji od proljetne točke ♈ *na istok, protivno smjeru dnevne vrtnje,* od 0° do 360° (Sl. 16.). Rektascenzija se može poput satnog kuta izraziti i u *vremenskoj mjeri,* tako da je 15° jednako 1 satu (1^h), 15′ = 1^m, 15″ = 1^{sek}, a cijeli krug od 360° iznosi u vremenu 24^h.

Ekvatorskim koordinatama *jednog nebeskog tijela nazivamo* deklinaciju *δ* i rektascenziju *α.* Ovim koordinatama potpuno je određen položaj nebeskog tijela na nebeskoj sferi, koja se vrti, a nezavisno o dnevnoj vrtnji, jer se tom vrtnjom ne mijenja ni deklinacija, ni rektascenzija.

Gibanja nebeskih tijela, koja ona imaju *mimo dnevne vrtnje* nebeske sfere (relativno prema sferi, koja se vrti), očituju se dakle u *promjenama njihove deklinacije i rektascenzije.*

U katalozima zvijezda stajačica one su popisane sa svojim ekvatorskim koordinatama, deklinacijom i rektascenzijom.

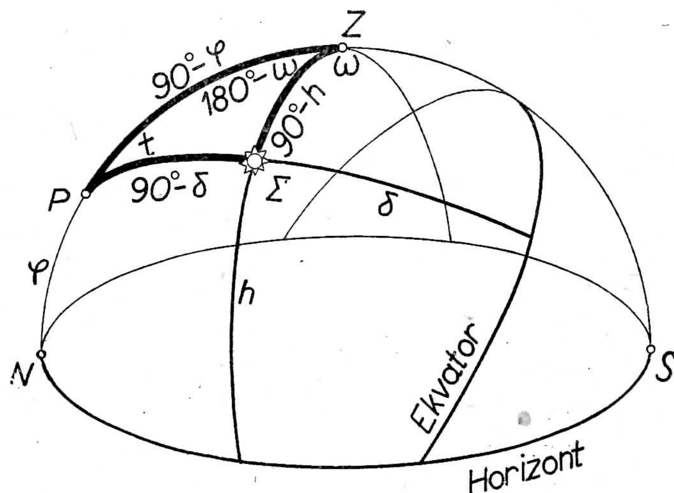
Položaje zvijezda određivali su koordinatima već grčki astronomi staroga vijeka. Horizontske su koordinate najstarije, ali su neki danas upotrebljeni nazivi, koji se odnose na horizontski sistem, kao azimut, almukantarat, arapskog porijekla iz srednjeg vijeka.

Ekvatorske koordinate i brojenje rektascenzije od proljetne točke uveo je najveći astronom staroga vijeka Hiparh (2. stoljeće pr. n. e.)

U svakoj se zvijezdi Σ (sl. 17.) sijeku njezin vertikal i njezin deklinacijski krug. Zvijezda, zenit i pol su stoga vrhovi sfernog trokuta ΣZP, kojega su stranice određene visinom pola *φ*, te visinom *h* i deklinacijom *δ* zvijezde, dok su 2 njegova kuta određena azimutom *ω* i satnim kutom *t* zvijezde. Rješavanjem ovoga

[1] U proljetnoj se točki nalazi Sunce u početku proljeća (gl. I, 9).

trokuta (»nautički trokut«) po pravilima sferne trigonometrije mogu se dvije od pet veličina φ, h, ω, δ, t izračunati, ako su ostale tri poznate.



Sl. 17

EKVATORIJAL. Ako hoćemo dalekozorom određivati ekvatorske koordinate nebeskih tijela, onda moramo osi, oko kojih se vrti dalekozor, orijentirati prema ekvatorskom koordinatnom sistemu.

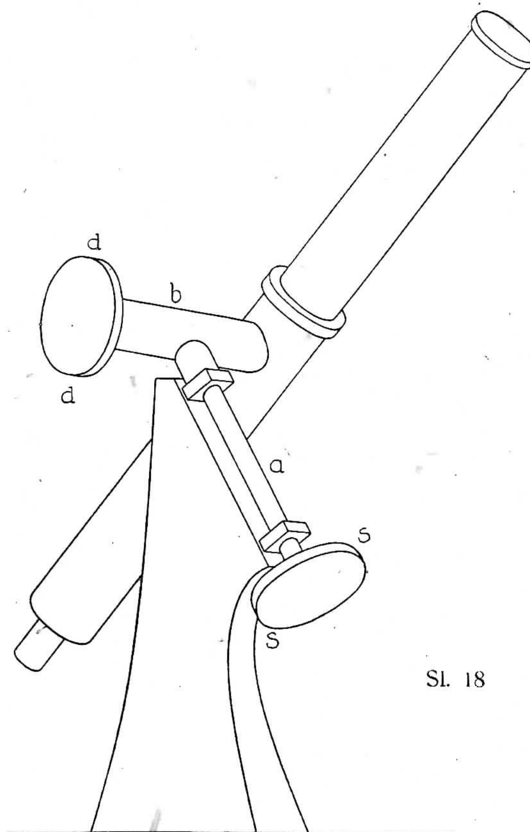
Dok univerzalni instrument ili altazimut (gl. I. 4) ima jednu vertikalnu i jednu horizontalnu os vrtnje, dalekozor udešen za upotrebu u ekvatorskom koordinatnom sistemu imat će jednu os vrtnje, koja se podudara sa *polarnom osi,* i drugu, koja pada u *ravninu nebeskog ekvatora.*

Za takav dalekozor velimo, da je postavljen *ekvatorijalno* ili *paralaktično.* Refraktor,[1] naročito veći, postavljen ekvatorijalno, zove se e k v a t o r i j a l.

Ekvatorijalni ili paralaktični način postavljanja prikazuje sl. 18.

[1] Refraktor se zove dalekozor, koji ima leće i kao okular i kao objektiv, za razliku od reflektora, koji ima mjesto leće objektiva konkavno sferno zrcalo.

Jedna je os upravljena prema nebeskom polu, te je paralelna sa polarnom osi, oko koje se vrši dnevna vrtnja nebeske sfere. Ova se os (Sl. 18,a) zove *satna os* i s njom je vezan *satni krug* (Sl. 18, ss), kojega je ravnina paralelna sa nebeskim ekvatorom i pomoću kojega čitamo satni kut, za koji se okrenuo dalekozor.



Sl. 18

Druga os, okomita na satnoj, zove se *deklinaciona os* (Sl. 18, b); s njom je spojen *deklinacioni krug* (Sl. 18, dd), kojega se ravnina podudara sa ravninom onog nebeskog satnog kruga, do kojeg smo dalekozor okrenuli vrtnjom oko satne osi. Na deklinacionom krugu možemo čitati, za koliko se zavrtio dalekozor u deklinaciji.

Zbog vrtnje nebeske sfere zvijezda, koju motrimo, ne će dugo ostati u vidnom polju dalekozora. Želimo li isto nebesko tijelo dulje motriti, onda moramo dalekozorom ići za nebeskim tijelom. Ekvatorijalno postavljanje ima tu prednost, što pri okretanju dalekozora oko satne osi u smjeru dnevne vrtnje nebeske sfere vizirana točka neba ostaje u sjecištu nitnoga križa (gl. I, 4), ako je brzina okretanja jednaka brzini vrtnje nebeske sfere. Veći dalekozori imaju mehanizam, koji s električnim pogonom ili pogonom utega vrti dalekozor oko satne osi.

6. ZEMLJA

ZEMLJA JE PRIBLIŽNO KUGLA. Iskustvo nas uči, da se slika, koju nam daje nebo, mijenja, kad mijenjamo svoje stajalište na Zemlji. Mijenjajući mjesto na Zemlji vidjet ćemo međutim, da *zviježđa ne mijenjaju svoga oblika* ni kod veoma velikih prevaljenih daljina. Ova nas činjenica uči, da zvijezde stajačice moraju biti u ogromnim udaljenostima od Zemlje, stajačice moraju biti u ogromnim udaljenostima od Zemlje, prema kojima svi razmaci na Zemlji iščezavaju. Stoga su *pravci, u kojima vidimo jednu zvijezdu stajačicu iz različitih točaka Zemlje, međusobom paralelni.*

Međutim putujući po Zemlji brzo ćemo se uvjeriti, da iste zvijezde i zviježđa na raznim mjestima vidimo u isto doba noći u *raznim položajima prema horizontu;* mijenja se na pr. zenitna daljina iste zvijezde u času kulminacije, mijenja se visina Sjevernjače nad horizontom, a zvijezde, koje na jednom mjestu nijesu cirkumpolarne, na drugom jesu.

Kako se te promjene položaja zvijezda pri promjeni našega stajalište tiču naročito njihovih horizontskih koordinata, moramo zaključiti, da *ne pripada svakoj točki na Zemlji ista ravnina horizonta,* a iz toga opet slijedi, da Zemlja ne može biti ravna, nego da je *Zemljina površina obla.*

Ravnina horizonta jednoga mjesta na Zemlji je prema tome tangencijalna ravnina oble Zemljine površine, sa diralištem u dotičnom mjestu.

Motrenje pojava na nebu i na Zemlji pokazuje, da je Zemlja približno kugla. Glavni dokazi za kuglasti oblik Zemlje su ovi:

a) Kod pomrčine Mjeseca njegov je zasjenjeni dio ograničen kružnim lukom, s koje god točke Zemlje i kada god gledali pomrčinu.

Pomrčina Mjeseca nastaje tako, da Zemljina sjena pada na Mjesec, a kružno ograničenu sjenu može dati u svima položajima samo tijelo kuglastoga oblika.

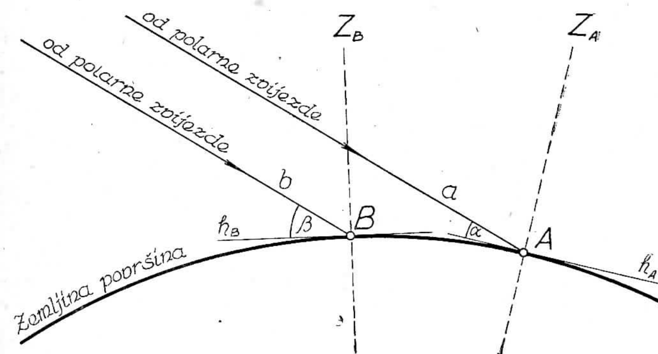
b) I kad nam vidik nije ničim ograničen, vidimo sa svakog mjesta Zemlje u svim smjerovima samo do neke konačne daljine. Ta je daljina to veća, što je više nad horizontom naše stajalište. *Od veoma udaljenih predmeta vidimo prije gornje dijelove* (vrhove jarbola lađa, vrhove svjetionika i dr.).

Jasno je, da takove pojave u vidiku ne bi mogle nastati na Zemlji, kad bi ona bila ravnina. Naš je vidik za predmete pri Zemlji ograničen dodirnom točkom D (Sl. 19) one zrake, povučene iz našeg stajališta S, koja se dodiruje Zemljine površine. Produženje te tangente može da dohvati još gornje dijelove visokih predmeta.



Sl. 19

c) Idući prema sjeveru naći ćemo, da visina Polarne zvijezde, prema tome i visina sjevernog nebeskog pola nad horizontom postaje sve veća.

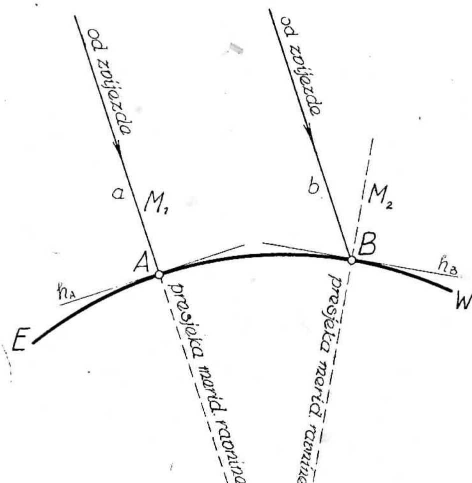


Sl. 20

Da je ova pojava dokaz zaobljenosti Zemljine površine u smjeru od juga prema sjeveru, razumjet ćemo, ako pomislimo, da su zrake povučene od Polarne zvijezde prema kojoj bilo točki Zemlje međusobom

paralelne. Ako su (Sl. 20) A i B dvije točke na Zemlji, smjer $A \to B$ sjeverni, Z_A, Z_B zeniti tih točaka, a, b dvije paralelne zrake povučene od Polarne zvijezde, zamišljene u beskonačnoj udaljenosti, onda je visina Polarne zvijezde β u točki B veća od α, visine u točki A, a to ne bi moglo biti, kad bi horizontne ravnine, predočene pravcima h_A, h_B, padale u istu ravninu.

d) Da je Zemlja zaobljena i u smjeru zapadno-istočnom, raspoznajemo po tom, što izlaz, kulminacija i zalaz jedne zvijezde nastupaju to ranije, što više idemo prema istoku, to kasnije, što više idemo prema zapadu.



Sl. 21

EABW (Sl. 21) prikazuje dio Zemljine površine, presječene u zapadno-istočnom pravcu, h_A, h_B presjeke horizontnih ravnina, AM_1, AM_2 presjeke meridijanskih ravnina dvaju mjesta A i B, od kojih je A istočno od B, a, b zrake, koje dolaze paralelno od jedne zvijezde. Vidimo na slici, da se zvijezda u ovom času u A vidi u meridijanu, ona kulminira, dok je ona u B još istočno od meridijana, pa će za motritelja u B istom kasnije kulminirati.

e) Predodžba, da je Zemlja kuglastog oblika, prešla je u svijest i neukog čovjeka onda, kad je uspjelo putujući u jednom pravcu po Zemlji obići oko cijele Zemlje i vratiti se na ishodnu točku.

Da je Zemlja kugla, znali su, čini se, već haldejski astronomi, ali prvi je to pouzdano naučavao P i t a g o r a (6. stoljeće pr. n. e.). A r i s t o t e l (4. stoljeće pr. n. e.) sabrao je u svom djelu »O nebu« tada poznate dokaze za kuglasti oblik Zemlje, među njima oblik Zemljine sjene kod pomrčine Mjeseca i promjenu u zenitnim razmacima zvijezda idući prema sjeveru ili jugu. Dokaz po vidiku potječe od P l i n i j a (1. stoljeće pr. n. e). Ni u srednjem vijeku nauka o kuglastom obliku Zemlje nije potpuno iščezla, iako su je pojedinci pobijali (osobite im je poteškoće zadavao pojam *antipoda*).

Prvi put je oplovio Zemlju brod Portugalca Magalhaesa 1519.—1522. Na svom putu je on, osim što se ploveći prema zapadu vratio na ishodnu točku, pridonio dokaz o obliku Zemlje još tim, što je u dnevniku njegova puta zabilježen 1 dan manje, nego što je zabilježeno u njegovoj polaznoj luci od polaska do povratka. Ploveći prema zapadu — u smjeru dnevne vrtnje neba — Sunce je ovim moreplovcima svaki dan sve više sa izlazom zakašnjavalo, kako moramo očekivati prema točki d), svaki im je dan trajao dulje nego dan u polaznoj luci, koja je mirovala. Ukupno to mora iznositi pri cijelom ophodu oko Zemlje 1 potpuni dan.

Poslije se obišlo oko Zemlje mnogo puta po raznim putovima, a u najnovije vrijeme uzdušni je saobraćaj stvorio mogućnost, da se o kuglastom obliku Zemlje uvjerimo u vrlo kratkom vremenu od nekoliko dana.

Nijedan od gore navedenih razloga ne daje stroga dokaza, da je Zemlja baš točno kugla, t. j. da je njezina površina na svima mjestima u svima smjerovima jednako zakrivljena. Pravi geometrijski oblik Zemlje možemo razabrati samo iz premjera Zemlje.

Budući da prema udaljenostima zvijezda iščezavaju svi razmaci na Zemlji, to se svakom motritelju na površini Zemlje prikazuje dnevna vrtnja neba isto onako, kako bi je vidio iz središta zemaljske kugle. Mi možemo dakle polarnu os zamisliti povučenu i kroz središte zemaljske kugle. Prema tome:

Nebo se prividno vrti oko polarne osi, koja ide kroz nebeske polove i središte zemaljske kugle.

Ova polarna os probija kroz Zemljinu površinu u dvjema točkama, koje se zovu s j e v e r n i i j u ž n i p o l Z e m l j e (Sl. 22, P_N i P_S).

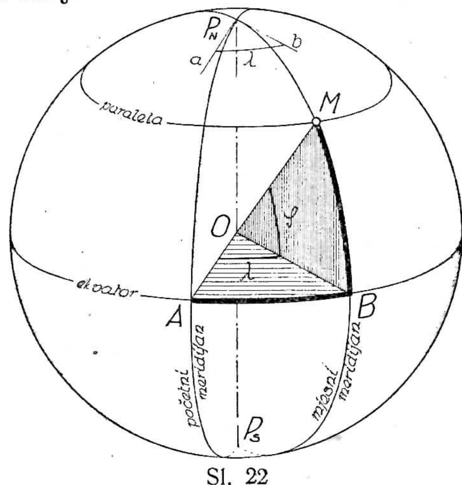
Ravnina položena kroz središte Zemlje okomito na polarnu os siječe zemaljsku kuglu u glavnom krugu, koji se zove z e m a l j s k i e k v a t o r.

Svakom točkom M na Zemljinoj površini može se položiti jedan krug okomit na ravnini ekvatora i jedan krug paralelan sa ekvatorom (Sl. 22.).

Krugovi povučeni kroz polove okomito na ekvator zovu se z e m a l j s k i m e r i d i j a n i.

Proširena ravnina *zemaljskog meridijana* jednog mjesta identična je sa ravninom *astronomskog meridijana* toga mjesta, jer ova proširena ravnina sadržava polarnu os i zenit toga

mjesta, budući da je produženje Zemljinog polumjera *OM* za dotično mjesto vertikala. Tangenta u jednoj točki zemaljskog meridijana leži u horizontnoj ravnini toga mjesta i identična je sa podnevnom linijom.



Sl. 22

Krugovi paralelni s ekvatorom zovu se p a r a l e l e (Sl. 22). Zemaljski ekvator i polovi, te meridijani i paralele su osnova koordinatnog sistema, u kojem se g e o g r a f s k i m k o o r d i n a t a m a može odrediti položaj točke na Zemljinoj površini.

Geografske koordinate su *geografska dužina* (λ) *i geografska širina* (φ).

G e o g r a f s k a d u ž i n a λ mjesta *M* (Sl. 22.) je kut, što ga čini ravnina mjesnog meridijana P_NMBP_S sa jednim početnim meridijanom P_NAP_S. Isti kut čine i ekvatorski polumjeri tih dvaju meridijana *OA* i *OB* u središtu Zemlje, a čine ga i tangente *a, b* tih meridijana povučene u polu.

Kao početni meridijan prihvaćen je danas općenito meridijan, koji ide kroz mjesto *Greenwich* (Grinič) u Engleskoj, u kom je glasovita zvjezdarna.

Geografska dužina broji se od Greenwicha na istok i na zapad od 0⁰ do 180⁰. Dužine zapadno od Greenwicha označuju se sa —, istočno sa +.

G e o g r a f s k a š i r i n a φ mjesta *M* je kut *MOB* između mjesnog zemaljskog polumjera *OM* i ekvatorskog polumjera

OB u istom meridijanu; to je ujedno stupnjevima izraženi meridijanski luk od ekvatora do mjesta M.

Geografska se širina broji od ekvatora na sjever i na jug od 0⁰ do 90⁰. Sjeverne se geografske širine označuju i sa +, južne sa —.

Sva mjesta na istom meridijanu imaju jednaku geografsku dužinu, sva mjesta na istoj paraleli jednaku geografsku širinu.

Za geografske koordinate u današnjem smislu ide zasluga H i p a r h a (2. stoljeće pr. n. e.), koji je kao početni uzeo meridijan otoka Roda. P t o l e m e j (2. stoljeće) uzeo je kao početni meridijan onaj, koji prolazi Kanarskim otocima u Atlantskom oceanu, koji su bili najzapadniji, tada poznati dio Zemlje. Jedan je od Kanarskih otoka i otok Ferro, kojega je zapadnim rtom kongres kosmografa, sazvan od Richelieua, položio g. 1634. početni meridijan. Kad su se kasnije počele računati geografske dužine od Pariza (Pariz ima dužinu 19⁰52′ istočno od Ferra), premješten je početni meridijan još malo više na zapad, tako da bi Pariz imao dužinu ravno 20⁰ istočno od Ferra. Prema tome dužine »od Ferra« znače zapravo dužine od jednog meridijana, koji je točno 20⁰ zapadno od pariskog. Kako se u pomorskoj službi i u znanosti kao osnovno vrijeme uzima vrijeme određeno na greenwichkom meridijanu, prevladalo je u zadnje vrijeme i računanje geografske dužine od greenwichkog meridijana kao početnog.

7. NEBO U ZAVISNOSTI O MJESTU NA ZEMLJI

KAKO UTJEČE PROMJENA MJESTA NA NEBESKE POJAVE. Nakon što smo upoznali određivanje mjesta na Zemlji geografskim koordinatama, možemo točnije prikazati promjene na nebeskoj sferi, koje nastaju, ako mijenjamo mjesto na Zemlji.

Svako mjesto na Zemlji ima svoj *horizont*, kojega je ravnina tangencijalna ravnina zemaljske kugle; *vertikala*, okomita na horizontu, je za svako mjesto produženje Zemljina polumjera (Sl. 22, OM). Prema tome je i *zenit* za različita mjesta u različitim točkama nebeske sfere.

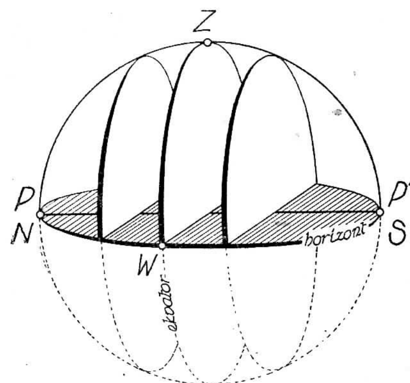
Međutim *polarne osi* svih točaka na Zemlji među sobom su paralelne, jer su sve paralelne sa Zemljinom polarnom osi.

Ravnina nebeskog meridijana, koja ide polarnom osi i zenitom, opet je različita na različitim mjestima Zemlje; ona se podudara sa ravninom zemaljskog meridijana odnosnog mjesta Zemlje.

*

Prema tome sa promjenom *geografske širine* našega mjesta nastaju ove promjene na nebeskoj sferi:

a) Mijenja se *kut priklona nebeske polarne osi* prema ravnini horizonta, t. j. *visina nebeskog pola.*



Sl. 23

Za mjesto na *zemaljskom ekvatoru* nebeska polarna os pada u samu ravninu horizonta, koja je paralelna sa Zemljinom polarnom osi; polovi su u horizontu, visina pola 0⁰ (Sl. 23.).

Na *polu Zemlje* ravnina je horizonta okomita na polarnoj osi, visina pola 90⁰, t. j. nebeski pol se podudara sa zenitom, nebeska je polarna os vertikalna.

b) Kako je *ravnina nebeskog ekvatora* okomita na polarnoj osi, mijenja se njezin *kut priklona* prema ravnini horizonta.

Za mjesta na *zemaljskom ekvatoru* ravnina se nebeskog ekvatora podudara sa zemaljskim ekvatorom, ide kroz vertikalu i zenit, te je okomita na horizontu (Sl. 23.). Sve zvijezde stajačice pri dnevnoj vrtnji opisuju nad horizontom polukrugove (vidljivi luk jednak nevidljivom); nema ni cirkumpolarnih, ni anticirkumpolarnih zvijezda; mogu se vidjeti sve zvijezde stajačice.

Na *polu Zemlje* ravnina se nebeskog ekvatora podudara sa ravninom horizonta. Sve su zvijezde stajačice cirkumpolarne (odnosno na južnom polu anticirkumpolarne) i opisuju pri dnevnoj vrtnji krugove paralelne sa horizontom (almukantarate). Vide se samo zvijezde jedne nebeske hemisfere (sjeverne na sjevernom polu Zemlje, južne na južnom polu).

c) Mijenja se *vidljivi luk zvijezda,* on raste, idući od ekvatora do pola, od polukruga do potpunog kruga.

d) Zviježđa, koja za jedna mjesta dnevnom vrtnjom dolaze u zenit, na drugima ne dolaze.

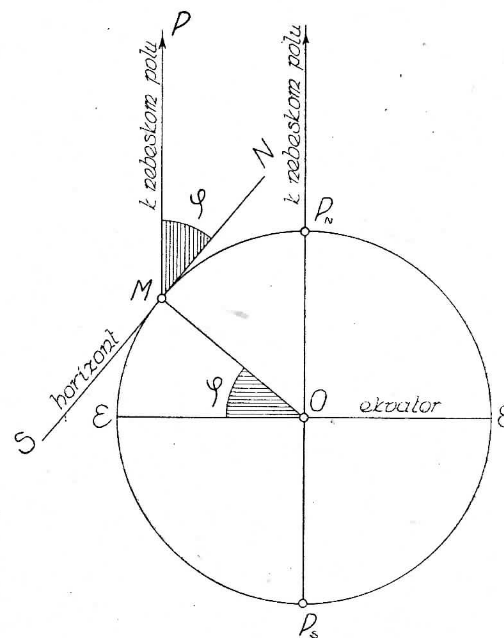
Sa *promjenom geografske dužine* nastaju promjene u vremenu izlaza, kulminacije i zalaza.

Što je koje mjesto dalje na istok, što mu je dakle veća geografska dužina istočno ili manja zapadno od Greenwicha,

to ranije isto nebesko tijelo dnevnom vrtnjom nebeske sfere dolazi nad horizont (izlazi), to ranije ono prođe kroz meridijan (kulminira), to ranije i ponire pod horizont (zalazi).

U času, kad jedno nebesko tijelo u mjestu A kulminira, t. j. ima satni kut 0⁰, u mjestu B istočno od njega ono je već prešlo kulminaciju, t. j. ima satni kut izvjesne veličine, koja zavisi o razlici geografskih dužina; na mjestu C zapadno od A to tijelo se još nije na nebu uspelo do kulminacije. Ako je na pr. u A podne (Sunce kulminira), u B već je podne prošlo, u C još nije podne.

Mi vidimo dakle, da postoje stanoviti odnosi između geografskih koordinata jednoga mjesta i astronomskih koordinata nebeskih tijela, koja iz toga mjesta vidimo. Zbog toga je moguće *astronomsko određivanje mjesta,* t. j. određivanje geografskih koordinata jednoga mjesta pomoću astronomskih mjerenja.



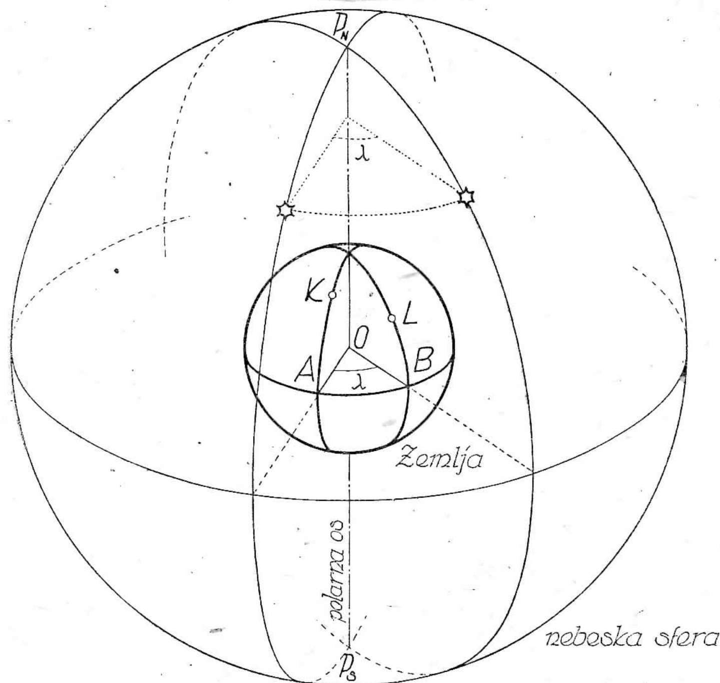
Sl. 24

GEOGRAFSKE KOORDINATE U ODNOSU PREMA ASTRONOMSKIM.

Geografska širina jednoga mjesta jednaka je visini nebeskoga pola u tom mjestu.

Neka je (Sl. 24) krugom $P_N MEP_S E$ prikazan presjek Zemlje po meridijanu mjesta M. EOE je presjek ekvatorske ravnine, prema tome kut $MOE = \varphi$ geografska širina mjesta M, tangenta u točki M podnevna linija u horizontu točke M. Pravac MP, paralelan sa polarnom osi Zemlje P_N P_S je nebeska polarna os motritelja u točki M, ona ide nebeskim polom P; kut PMN je dakle visina nebeskoga pola za motritelja u M, jer taj kut zatvara nebeska polarna os sa podnevnom linijom. Kutevi PMN i MOE su kao okomični kutovi jednaki.

Razlika u geografskoj dužini dvaju mjesta na Zemlji jednaka je razlici satnih kutova, pod kojima vide istu zvijezdu u istom času dva motritelja u tim mjestima.



Sl. 25

Neka su (Sl. 25) KA, LB meridijani dvaju mjesta K i L na Zemlji, između kojih je razlika u dužini λ, tako da je L istočno od K.

Ako jedna zvijezda za mjesto L kulminira, onda se ona u tom času nalazi u ravnini meridijana mjesta L. Da ta ista zvijezda dođe dnevnom vrtnjom neba od istoka prema zapadu u ravninu meridijana mjesta K, treba da se nebo (predočeno većom kuglom) zavrti oko polarne osi $P_N OP_S$ upravo za kut $AOB = \lambda$. U času, kada zvijezda kulminira u mjestu K, ona je za motritelja u L u dnevnoj vrtnji neba odmakla od meridijana na zapad za kut λ, a to znači, da je motritelj u L vidi u položaju, gdje joj je satni kut = λ.

Geografska dužina jednog mjesta L, koje je istočno od Greenwicha, jednaka je satnom kutu jedne zvijezde motrene u L u času, kada ona kulminira u Greenwichu.

Geografska dužina mjesta zapadno od Greenwicha jednaka je dopunjku satnoga kuta zvijezde na 360° u času, kad ona kulminira u Greenwichu.

Kako se satni kut izražava osim u stupanjskoj mjeri još i u vremenskoj mjeri ($1^h = 15^0$), može se *geografska dužina jednoga mjesta izraziti i u vremenu (h, m, s).* Tako izražena dužina kaže nam onda neposredno, kolika je razlika u vremenu između kulminacije jedne zvijezde na dotičnom mjestu i u Greenwichu.

ASTRONOMSKO ODREĐIVANJE MJESTA. Astronomski odrediti mjesto na Zemlji reći će pomoću astronomskih mjerenja odrediti mu geografsku širinu i dužinu.

Određivanje geografske širine svodi se na određivanje visine nebeskoga pola.

Visinu nebeskoga pola možemo dobiti mjerenjem visine Polarne zvijezde. Polarna zvijezda nije točno u nebeskom polu, nego je udaljena od njega otprilike $1\frac{1}{4}^0$; ona dakle kao cirkumpolarna zvijezda opisuje pri dnevnoj vrtnji nebeske sfere krug oko nebeskog pola s polumjerom $1\frac{1}{4}^0$. Ako je izmjerena visina Polarne zvijezde, onda treba dobivenoj vrijednosti još dodati ispravak, koji zavisi o položaju Polarne zvijezde na njezinu dnevnom krugu, t. j. o njezinu satnom kutu u času mjerenja visine.

Visina nebeskog pola može se dobiti i motrenjem gornje i donje kulminacije jedne cirkumpolarne zvijezde. Ona je u času gornje kulminacije isto toliko iznad nebeskog pola, koliko je u času donje kulminacije ispod njega. Ako su dakle za cirkumpolarnu zvijezdu izmjerene visine h_1 i h_2 pri gornjoj i donjoj kulminaciji, onda je visina pola, a time i geografska širina jednaka aritmetičkoj sredini tih visina, t. j. $\varphi = \frac{h_1 + h_2}{2}$.

Visina pola se može međutim odrediti i mjerenjem kulminacione visine bilo koje zvijezde, kojoj je poznata deklinacija δ.

Polukrug na slici 26. predstavlja nebeski meridijan mjesta O, točka E je sjecište meridijana sa nebeskim ekvatorom, dakle $\sphericalangle$ POE = 90°. Mi imamo dalje kutove:

$\sphericalangle$ ΣOE = deklinaciji δ zvijezde Σ, koja u datom času kulminira;

$\sphericalangle$ POΣ = $90^0 - \delta$;
$\sphericalangle$ PON = visini pola P, dakle geografskoj širini φ;
$\sphericalangle$ ΣOS = visini h zvijezde Σ, izmjerenoj u času kulminacije.

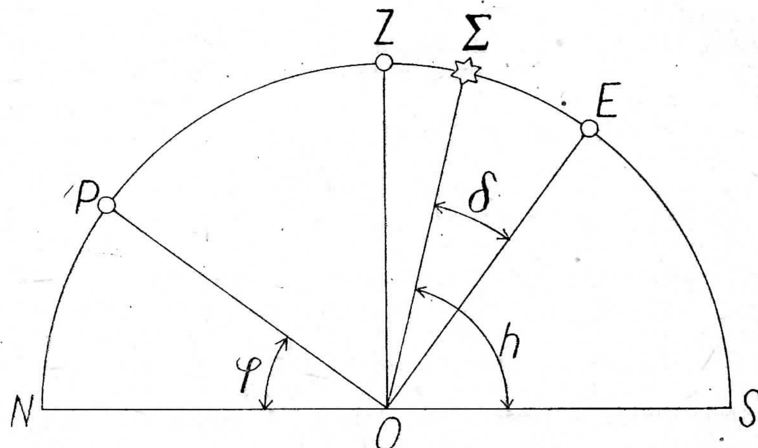
Iz slike vidimo, da je

$\sphericalangle$ PON + $\sphericalangle$ ΣOP + $\sphericalangle$ SOΣ = 180^0

ili $\varphi + 90^0 - \delta + h = 180^0$,

dakle

$$\varphi = 90^0 + \delta - h.$$



Sl. 26

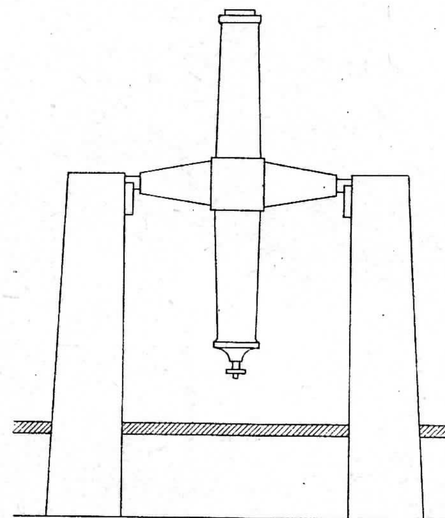
Geografska dužina jednoga mjesta dobije se, ako se utvrdi razlika u vremenu kulminacije jedne zvijezde u dotičnom mjestu i u Greenwichu. Motritelji na oba mjesta moraju, da utvrde tu vremensku razliku, ili imati vrlo točne i jednako regulirane ure, ili dojavljivati jedan drugom čas kulminacije telegrafskim (žičnim ili bežičnim) signalima.

Geografska dužina jednoga mjesta može se odrediti i po satnim kutovima jedne te iste zvijezde, motrenim u istom času u tom mjestu i u drugom mjestu, kojega je geografska dužina već poznata. Satni kut zvijezde (vidi I. 5.) daje vrijeme proteklo od kulminacije, prema tome razlika satnih kutova u dva mjesta u istom času daje razliku u vremenima kulminacije iste zvijezde. Istovremenost motrenja satnih kutova na oba mjesta može se opet utvrditi bilo telegrafskim signalima, bilo jednako reguliranim urama.

Istovremenost motrenja na dva različita mjesta može se utvrditi i po jednoj nebeskoj pojavi, koja je vidljiva u oba mjesta i nastupa za oba mjesta u isti čas (na pr. pomrčina Mjeseca, zastiranje izvjesne zvijezde stajačice Mjesecom, pomračenje Jupiterovih satelita).

Određivanje geografskih koordinata je zadaća vrlo važna za geografiju i premjer Zemlje, za pomorsku i zračnu plovidbu, pa se metode tog određivanja stalno usavršavaju.

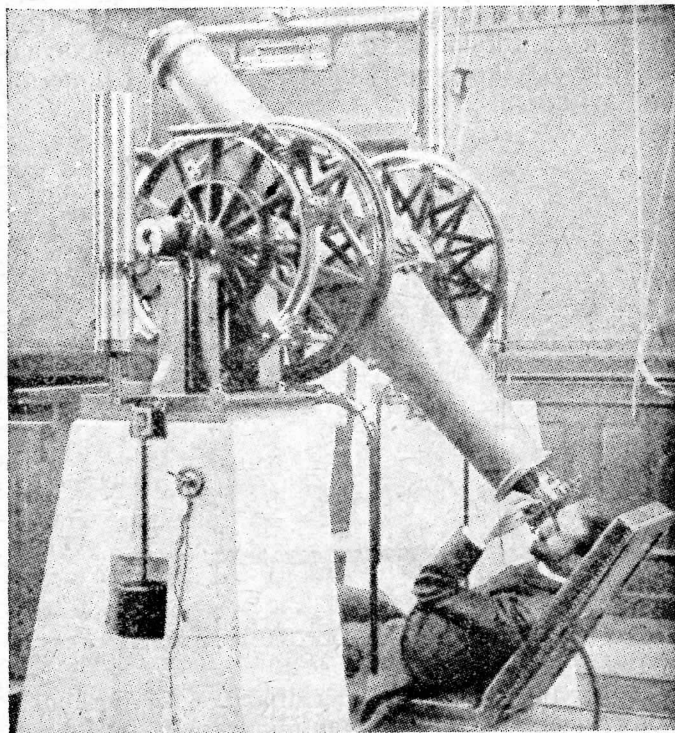
MERIDIJANSKI INSTRUMENT. Astronomsko određivanje mjesta zahtijeva, kako smo vidjeli, motrenje zvijezda u onom času, kad pri dnevnoj vrtnji nebeske sfere prolaze kroz meridijan, t. j. u času kulminacije. I astronomsko određivanje vremena zahtijeva, kako ćemo vidjeti kasnije (II. 1.), meridijanska motrenja zvijezda.


Sl. 27

Za motrenje zvijezda u meridijanu služe posebni *meridijanski instrumenti,* gdje je omanji dalekozor postavljen tako, da se može uperiti samo na točke nebeskog meridijana. Da bi dalekozor ostao stalno u ravnini meridijana, mora os, oko koje se okreće, biti točno u pravcu, koji spaja istočnu i zapadnu točku horizonta, pa je okomit na ravninu meridijana. Sl. 27 pokazuje, kako je osovina meridijanskog instrumenta smještena na dva ležaja, istočnom i zapadnom. Ležaji se kod instru-

menata, koji se upotrebljavaju na stalnom mjestu, nalaze na kamenim stupovima.

Svaki meridijanski instrument ima na osovini krug razdijeljen u stupnjeve, da bi se po poznatoj deklinaciji zvijezde mogao prije njezine kulminacije namjestiti dalekozor na onu visinu, u kojoj očekujemo kulminaciju. Ako je taj krug točno razdijeljen, te se na njemu može točno (mikroskopima) odčitavati visina ili zenitna udaljenost zvijezda u času kulminacije, onda se instrument zove m e r i d i j a n s k i k r u g. (Sl. 28.)

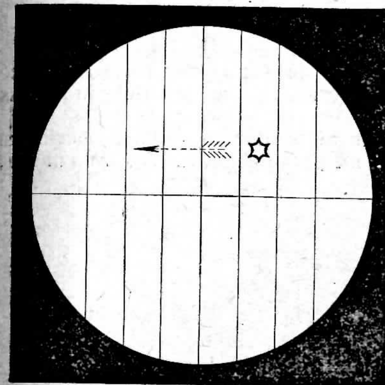


Sl. 28. Meridijanski krug zvjezdarne u Lyonu

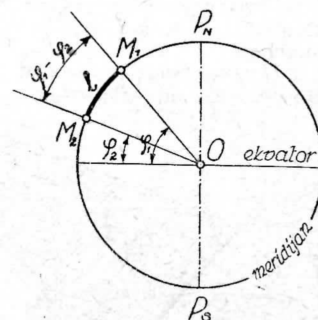
Ako krug meridijanskog instrumenta služi samo za namještanje dalekozora, pa se na instrumentu motri samo čas prolaza zvijezda kroz meridijan, onda se on zove p a s a ž n i (prolazni) i n s t r u m e n t.

U okularu meridijanskog instrumenta razapet je (mjesto jednog nitnog križa) lihi broj (na pr. 7, Sl. 29.) paralelnih niti, od kojih srednja ima da bude što točnije u ravnini meridijana. Ostale niti uz srednju stavljene su zato, da pomoću časa prolaza zvijezda kroz njih odredimo što točnije čas prolaza kroz srednju, budući da se vrijeme, koje treba pojedinim zvijezdama od jedne niti do druge, može računski vrlo točno odrediti.

PREMJER ZEMLJE. Ako je Zemlja kugla, onda se već iz mjerenja u razmjerno malom području može naći polumjer Zemlje.



Sl. 29



Sl. 30

Uzmu li se na Zemlji dvije točke M_1 M_2 (Sl. 30), koje su u istom meridijanu, onda je kut između njihovih vertikala OM_1 i OM_2 jednak razlici geografskih širina φ_1, φ_2 tih točaka. Ako na površini Zemlje izmjerimo udaljenost između tih točaka l = luk M_1 M_2, onda iz luka i srednjeg kuta $(\varphi_1 - \varphi_2)$ možemo izračunati polumjer.

Odaberu li se dvije točke na istom meridijanu tako, da im se geografske širine razlikuju upravo za 1^0, onda je njihova udaljenost *dužina jednog meridijanskog stupnja.*

Mjerenje meridijanskih lukova na raznim mjestima Zemlje pokazalo je, da nijesu svi polumjeri Zemlje jednaki, da ona prema tome nije točno kugla, nego da je na polovima s p l o š t e n a.

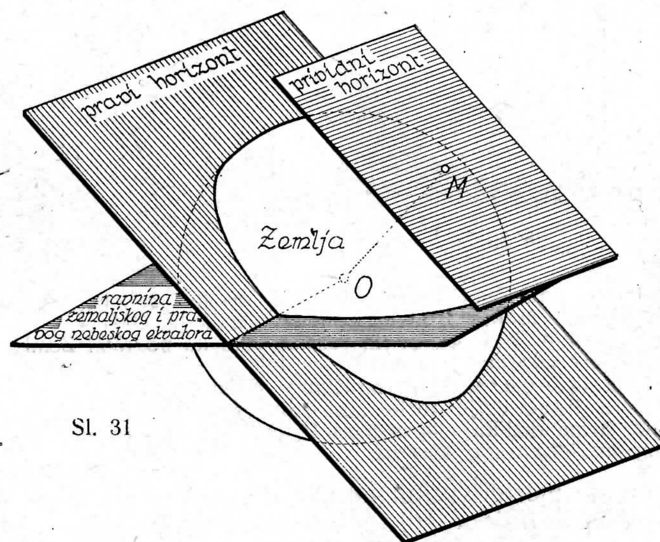
Pod *sploštenošću Zemlje* razumije se razlomak $\frac{a-b}{a}$, gdje a znači *ekvatorski, b polarni polumjer* Zemlje. Polarni je polumjer za 21 km kraći od ekvatorskog, što iznosi otprilike 300-ti dio ekvatorskog polumjera.

Iz premjera Zemlje proizlaze podaci o Zemlji sabrani u slijedećem pregledu:

ekvatorski polumjer a	6378 km
polarni polumjer b	6357 km
Sploštenost $\frac{a-b}{a}$	$\frac{1}{297}$
polumjer kugle jednakog volumena kao Zemlja	6371 km
opseg ekvatora	40076,6 km
dužina 1^0 ekvatora	111,3 km

Prvo mjerenje veličine Zemlje izvršio je Eratosten (3. stoljeće pr. n. e.). Luk, koji je on u Egiptu mjerio, spajao je Aleksandriju sa Asuanom.

U srednjem vijeku izmjerena je u Siriji dužina jednog meridijanskog stupnja od Arapa (oko god. 827.) na pobudu kalifa Al Mamuna.



Sl. 31

Prvo mjerenje meridijanskog stupnja triangulacijom izvršio je Snell (1617. »Eratosthenes batavus«) u Nizozemskoj.

Sploštenost Zemlje naslućivala se, prije nego što se mjerenjem utvrdila, iz fizikalnih razloga. Prvu su osnovu za utvrđivanje sploštenosti dala uporedna mjerenja (1735. i dalje) dužine meridijanskog stupnja blizu ekvatora (Peru u Južnoj Americi) i na sjeveru (u Laplandu). Slavni naš Dubrovčanin Ruđer Bošković (1711.—1787.) izmjerio je dužinu meridijanskog stupnja u Papinoj državi (1750.) zajedno sa Mairom. On je i prvi iz svih dotada izmjerenih stupnjeva računao sploštenost Zemlje i našao 1/273. U historiji je čuveno mjerenje stupnja, izvršeno za vrijeme francuske revolucije, kad je odlučeno, da se uvede kao jedinica dužine *metar*, koji ima da iznosi 10 000 000-ti dio meridijanskog kvadranta.

PRAVI I PRIVIDNI HORIZONT. Nebeska sfera, na kojoj se prividno nalaze sva nebeska tijela, obuhvata zemaljsku kuglu kao *koncentrična kugla*. Središte nebeske sfere imamo dakle zapravo zamisliti u središtu Zemlje. Mi bismo zbog toga i ishodnu točku za nebeske koordinatne sisteme, za sistem horizonta i ekvatora morali smjestiti u središte zemaljske kugle. Iz ovoga se razloga razlikuje u astronomiji *pravi horizont* od *prividnog horizonta*. *Prividni horizont* je ravnina, koja se u našem stajalištu M dodiruje zemaljske kugle (Sl. 31). *Pravi horizont* je ravnina, koja je paralelno sa prividnim horizontom položena središtem Zemlje O.

Jednako moramo i ravninu *pravog nebeskog ekvatora* zamisliti položenu središtem Zemlje okomito na polarnu os, tako da se ona podudara sa ravninom Zemljinog ekvatora.

Razlika između pravog i prividnog horizonta praktički nije od znatne važnosti, jer su, sa malo izuzetaka, nebeska tijela tako udaljena od Zemlje, da polumjer Zemlje prema tim daljinama iščezava.

8. ROTACIJA ZEMLJE

TUMAČENJE DNEVNE VRTNJE NEBESKE SFERE ROTACIJOM ZEMLJE. Dnevno gibanje nebeskih tijela sveli smo na to, da se cijelo nebo sa Suncem, Mjesecom i svima zvijezdama vrti prividno oko polarne osi, koja prolazi središtem Zemlje. Pomisao, kako je malena Zemlja prema udaljenostima i veličinama ostalih nebeskih tijela, nametnula je već rano pitanje, nije li nebo ono što miruje, dok se Zemlja vrti oko polarne osi. Motritelju, koji stoji na Zemlji, čini se, da Zemlja miruje, jer sve oko njega miruje. Takvu varku može da iskusi i putnik na velikoj lađi, komu se čini, da lađa miruje, dok predmeti obale odmiču u protivnom pravcu nego što lađa plovi, i putnik u vlaku, koji, dok ne čuje zveket svoga vlaka, ne zna, giba li se njegov vlak ili vlak na susjednom kolosijeku.

Predodžba, da se Zemlja sa svim predmetima i stvorovima, koji su na njoj, vrti, zadavala je još u početku novoga vijeka i prosvijetljenim umovima poteškoća. Danas međutim znamo, da se vrtnjom Zemlje mogu ne samo sve pojave vezane uz dnevnu vrtnju nebeske sfere jednostavno i skladno rastumačiti, nego vrtnja Zemlje razjašnjuje i brojne druge pojave na Zemlji i u Sunčevu sustavu, te je kao dokazana istina osnova svega našeg poimanja svijeta.

Prihvativši vrtnju (rotaciju) Zemlje kao osnovu pri tumačenju nebeskih pojava tvrdimo:

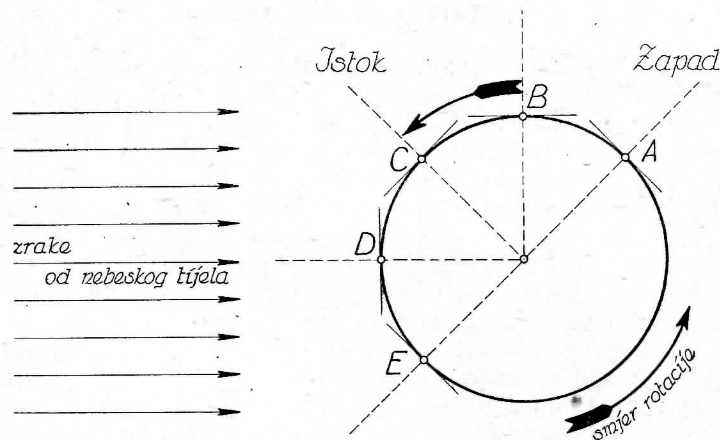
Zemlja se vrti oko svoje polarne osi od zapada prema istoku, tako da izvrši jedan okretaj u jednom danu.

Smjer Zemljine rotacije gledan iz sjevernog pola Zemlje suprotan je okretanju kazaljke na uri.

Promislimo, da se pojave dnevnog gibanja nebeskih tijela prikazuju motritelju na Zemlji, koja se vrti od zapada prema istoku, isto onako, kako mu se prikazuju u prividnoj vrtnji neba.

Ako nebo miruje, onda ponajprije ne treba nikakvog posebnog razjašnjenja činjenica, da ogromni broj zvijezda stajačica ne mijenja svog međusobnog položaja.

Ako se cijela Zemlja vrti oko osi, koja je istovjetna sa polarnom osi neba, onda se zajedno s njom vrti oko te osi i horizontna ravnina, zenit i meridijanska ravnina svakog mjesta Zemlje; mirovat će samo one točke neba, kojima prolazi produžena rotaciona os Zemlje, t. j. nebeski polovi.

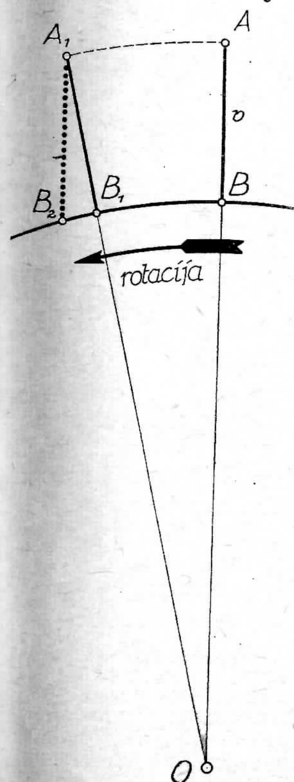


Sl. 32

Ako se Zemlja vrti od zapada prema istoku, dok zvijezde i Sunce na nebu miruju, onda su nam ta nebeska tijela u jednom dijelu dana (vremena jednog okretaja) nevidljiva i postanu vidljiva — izlaze — istom, kad ravnina našeg horizonta prođe kroz njih. Isto tako će zbog vrtnje naše meridijanske ravnine zvijezde dolaziti redom u tu ravninu — do kulminacije — to kasnije, što je koja više na istok.

Krug na sl. 32 predstavlja presjek Zemlje okomit na polarnu os. Smjer s desna na lijevo je smjer od zapada prema istoku, A, B, C, D, E su točke na Zemljinoj površini, tangente su presjeci njihovih horizontnih ravnina, okomice na te tangente su presjeci meridijanskih ravnina. U izvjesnom času, predočenom na slici, motritelju, koji gleda iz točke B, nebesko tijelo, od kojeg dolaze zrake s lijeva, upravo se pojavljuje nad istočnim horizontom, ono izlazi; za motritelja u točki C tijelo je već na pola puta od izlaza do kulminacije, za motritelja u D baš je u kulminaciji, jer zrake padaju u meridijansku ravninu, za motritelja u E prešlo je kulminaciju. Za motritelja u točki A nebesko je tijelo još pod horizontom, jer njegove zrake ne padaju u točku A. Okretanjem Zemlje oko polarne osi u smjeru strelice od zapada prema istoku doći će točka A u položaj točke B, B u položaj C, C u položaj D i t. d., još kasnije A u položaj C, B u položaj D i t. d.

DOKAZI ZA ROTACIJU ZEMLJE. a) Jedan od najjačih dokaza, da se Zemlja doista vrti, je u tom, što je nemoguće vjerovati u protivno — da bi se nebo sa svima nebeskim tijelima vrtjelo oko Zemlje. Mi znamo, da je Sunce tijelo neuporedivo veće nego Zemlja, da su nebrojeni milijuni zvijezda stajačica, koje vidimo prostim okom i dalekozorom, opet sunca velika kao naše, pa i veća. Ta se velika tijela nalaze u ogromnim, a raznim udaljenostima od Zemlje. Tvrditi, da se nebo vrti oko Zemlje, značilo bi malenoj našoj Zemlji pripisati nepojmljivo veliku privlačnu silu, da sva ta velika i daleka tijela mehanički veže uz sebe. A daleka nebeska tijela, da prijeđu u jednom danu krugove oko Zemlje, kojih polumjeri iznose mnogo bilijuna kilometara, morala bi se gibati nepojmljivim brzinama.



Sl. 33

Ima međutim i pojava na samoj Zemlji, kod kojih vidimo utjecaj rotacije Zemlje na gibanje. Od ovih pojava navesti ćemo nekoje.

b) Tijelo, koje slobodno pada, otklanja se zbog rotacije Zemlje od vertikale na istok.

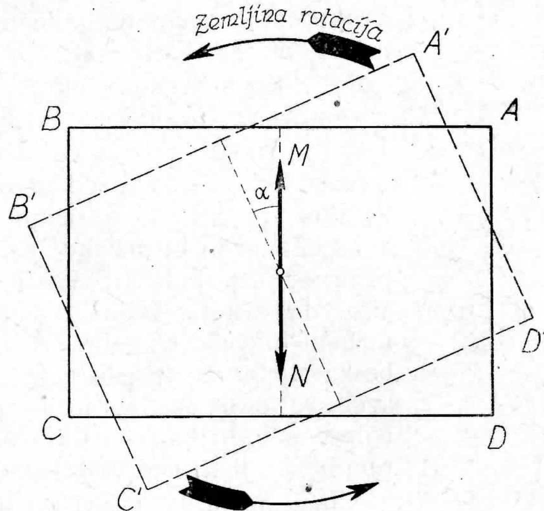
Tijelo, koje je čvrsto vezano sa Zemljom, ima zapadno-istočnu brzinu Zemljine točke, s kojom je vezano, i zadrži zbog ustrajnosti tu brzinu, i kad se odvoji od Zemlje. Zapadno-istočna brzina jedne Zemljine točke to je veća, što je točka udaljenija od osi rotacije.

Ako je AB (Sl. 33) na pr. toranj visine v (crtaća ravnina okomita na Zemljinoj osi), onda njegov vrh A ima veću zapadno-istočnu brzinu nego njegovo nožište B. Pustimo, da neko tijelo iz A pada slobodno, i uzmimo, da u vremenu, dok tijelo padne iz visine v na Zemlju, toranj vrtnjom Zemlje dođe u položaj A_1B_1. Tijelo ima u času, kad počne padati, zapadno-istočnu brzinu točke A, te s njom u vremenu padanja prevali put $AA_1 = BB_2$, dok nožište tornja prevali manji put BB_1. Tijelo dakle stigne na zemlju u točki B_2, koja je istočno od nožišta tornja.

Izmjere slike dakako ni iz daleka ne odgovaraju istini; istočno odstupanje pri slobodnom padu na pr. iz visine 100 m iznosi samo 1,5 cm. Pokusi za utvrđivanje ovog istočnog odstupanja tijela pri padanju izvršeni su uspješno u više mahova.

c) *Foucaultov* pokus s njihalom:

Ravnina, u kojoj se njiše njihalo, okreće se radi rotacije Zemlje prividno u smjeru suprotnom rotaciji Zemlje.



Sl. 34

U dvorani *(ABCD* sl. 34 je pod ove dvorane), koja se nalazi na sjevernom polu, njiše se njihalo, kojega je nit učvršćena u jednoj točki, zanjihano prvobitno u pravcu MN okomitom na zidove AB i CD. Kako se dvorana zajedno sa Zemljom vrti oko osi, koja na polu pada u vertikalu, doći će dvorana iza izvjesnog vremena, zavrtjevši se za kut α, u položaj $A'B'C'D'$. Njihalo je radi ustrajnosti zadržalo ravninu njihanja, ali za motritelja, kojemu se čini, da dvorana miruje, njihalo je prividno promijenilo ravninu. Smjer njihala sada čini sa okomicom na zid $A'B'$ kut α, ravnina njihala se prividno zavrtila za taj kut u smislu kazaljke na uri, t. j. protivno rotaciji Zemlje. U jednom se danu dvorana na polu okrene za punih 360°, t. j. za 15° u jednom satu. Ravnina se njihala u jednom satu prividno okrene također za 15° suprotno rotaciji Zemlje. Na ekvatoru ne bismo vidjeli nikakvog prividnog okretanja ravnine njihala, jer zidovi dvorane rotacijom Zemlje dođu u položaje paralelne sa prvobitnim. Izvede li se pokus sa njihalom u mjestu između pola i ekvatora, onda se ravnina njihala prividno vrti, ali brzinom **manjom od 15° u satu.**

Foucaultov pokus je prvi put izvršen g. 1851. u Panteonu u Parizu, on se danas često izvodi u predavanjima fizike.

9. PRIVIDNO GODIŠNJE GIBANJE SUNCA

Sunce pri prividnoj dnevnoj vrtnji nebeske sfere opisuje kao i zvijezde stajačice svaki dan prividno krug, kojega je ravnina okomita na polarnoj osi i paralelna sa nebeskim ekvatorom. Vidljivi luk, koji dnevno opisuje Sunce, nazvat ćemo *danjim lukom,* jer je dan, kad je Sunce nad horizontom, a nevidljivi luk *noćnim lukom,* jer je noć, kad je Sunce pod horizontom.

Pažljivim motrenjem otkrit ćemo međutim neke osobine dnevnog gibanja Sunca, kojim se ono razlikuje od dnevnog gibanja zvijezda stajačica. Ove će nam osobine pokazati, da Sunce mijenja mjesto na nebeskoj sferi, da putuje po nebeskoj sferi iz zviježđa u zviježđe.

PROMJENE IZLAZNE I ZALAZNE TOČKE SUNCA. Svaka zvijezda stajačica ima stalnu izlaznu i zalaznu točku na horizontu. Ako međutim sa jednog stalnog mjesta gledamo što češće izlaz i zalaz Sunca, vidjet ćemo, da se izlazna i zalazna točka na horizontu premješta. Tko bi danimice, kroz godinu dana motrio izlazne i zalazne točke Sunca, razabrao bi slijedeće (Sl. 35.):

Sunce 21. m a r t a izlazi u istočnoj točki horizonta i zalazi u zapadnoj točki.

Od toga dana dalje odmiču izlazna i zalazna točka, isprva brzo, kasnije sve sporije prema sjeveru i dostignu krajnju jutarnju i večernju amplitudu prema sjeveru 22. j u n a.

Oko 22. juna dnevni pomaci izlazne i zalazne točke Sunca tako su mali, da će nam se kroz nekoliko dana te točke pričiniti *stalnim.* Zatim se jutarnja i večernja amplituda Sunca postepeno

umanjuje, isprva sporo, a onda sve brže izlazna i zalazna točka odmiču opet prema jugu.

23. septembra Sunce opet izlazi u istočnoj i zalazi u zapadnoj točki.

Pomicanje izlazne i zalazne točke prema jugu nastavlja se i poslije 23. septembra, sve do 22. decembra, kada Sunce dostigne krajnju jutarnju i večernju amplitudu prema jugu. Pomicanje od 23. septembra do 22. decembra sve je sporije, oko 22. decembra opet je *zastoj* kao oko 22. juna.

Poslije 22. decembra južna se amplituda opet umanjuje, izlazna i zalazna točka opet odmiču prema sjeveru sve do 21. marta, kad opet Sunce izlazi u istočnoj, zalazi u zapadnoj točki.

21. marta i 23. septembra, kada Sunce izlazi u istočnoj, a zalazi u zapadnoj točki horizonta, Sunce pređe svoj dnevni put po nebeskom ekvatoru, pa je *danji luk jednak noćnom,* dan traje koliko i noć. Stoga se *dani 21. marta i 23. septembra* zovu ekvinokciji[1], i to 21. marta *proljetni,* 23. septembra *jesenski ekvinokcij.*

Dani 22. juna i 22. decembra, kada nastupa zastoj u pomicanju izlazne i zalazne točke Sunca, pa se točke opet počinju vraćati prema istočnoj odn. zapadnoj točki horizonta, zovu se solsticiji[2], i to 22. juna *ljetni,* 22. decembra *zimski solsticij.*

PROMJENE DANJEG I NOĆNOG LUKA. Pomicanje izlazne i zalazne točke Sunca utječe na duljinu njegova danjeg i noćnog luka.

Sl. 35. pokazuje promjene ovih lukova u toku jedne godine na sjevernoj poluci Zemlje, gdje je vidljivi nebeski pol sjeverni.

Od proljetnog ekvinokcija (21. III.) do ljetnog solsticija (22. VI.), kad izlazna i zalazna točka odmiču na sjever, danji luk postaje sve veći, noćni luk sve manji. U ljetnom solsticiju danji je luk najveći, dan najdulji, a noćni luk najmanji, noć najkraća.

Od ljetnog solsticija (22. VI.) do jesenskog ekvinokcija (23. IX.) danji luk se opet umanjuje, noćni povećava, dok u samom jesenskom ekvinokciju budu opet jednaki.

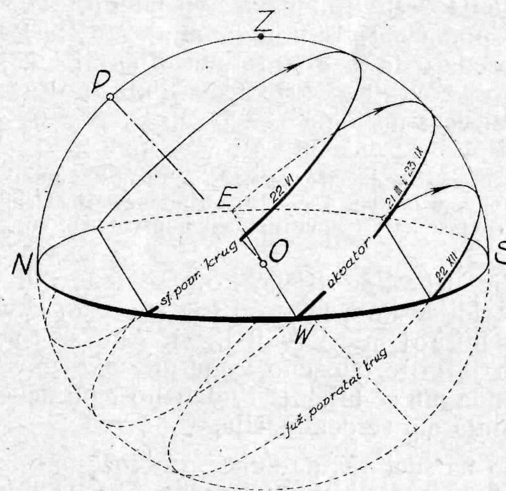
Od jesenskog ekvinokcija (23. IX.) do zimskog solsticija (22. XII.), kad izlazna i zalazna točka odmiču od istočne i zapadne točke na jug, nastavlja se opadanje danjeg i rastenje

[1] aequus lat. = jednak; nox lat. = noć
[2] sol lat. = Sunce; stare lat. = stajati

noćnog luka. U zimskom solsticiju danji je luk najmanji, dan najkraći, a noćni luk najveći, noć najdulja.

Od zimskog solsticija (22. XII.) do proljetnog ekvinokcija (21. III.), kad se izlazna i zalazna točka Sunca opet vraćaju prema ekvatoru, te južna jutarnja i večernja amplituda opet postaju manje, danji se luk opet povećava, noćni umanjuje, dok napokon u proljetnom ekvinokciju budu opet jednaki.

Na južnoj poluci Zemlje zamjenjuju svoje značenje ljetni i zimski solsticij, te proljetni i jesenski ekvinokcij. Danji luk Sunca raste od 22. VI., kad je najmanji, sve do 22. XII., kad je najveći, a opada od 22. XII. do 22. VI.; u zimskom solsticiju dan je najdulji, u ljetnom solsticiju najkraći.



Sl. 35

Dnevni krugovi paralelni s ekvatorom, koje opisuje Sunce u solsticijima, zovu se povratni krugovi, i to dnevni krug 22. VI. *sjeverni povratni krug,* dnevni krug 22. XII. *južni povratni krug.* Povratni se zovu, jer se Sunce, nakon što je do njih stiglo, počinje opet vraćati k ekvatoru.

Godišnje promjene danjeg i noćnog luka Sunca stvaraju *godišnja doba.* U razdoblju rastenja danjeg, a opadanja noćnog luka Sunca tlo i s njim atmosfera Zemlje sve se više zagrijavaju, jer što je veći danji luk, to dulje Sunčeve zrake griju tlo i atmosferu, a što je manji noćni luk, to kraće djeluje noćno ohlađivanje. Naprotiv u razdoblju opadanja danjeg, a rastenja noćnog luka tlo i atmosfera sve se više ohlađuju.

*

PROMJENE PODNEVNE ZENITNE UDALJENOSTI I DEKLINACIJE SUNCA. Sa promjenama izlazne i zalazne točke, te danjeg luka povezane su i promjene visine, u kojoj Sunce u podne prođe kroz meridijan (kulminaciona visina); *podnevna zenitna udaljenost* je, kako znamo iz glave I. 4., kut komplementan sa visinom kulminacije.

Na slici 35., koja odgovara prilikama u našim krajevima, vidimo, da podnevna zenitna udaljenost, koja je data lukom na meridijanu NPZS, od zimskog do ljetnog solsticija postaje sve manja, u ljetnom solsticiju (22. VI.) Sunce u podne dođe najbliže zenitu. Zatim podnevna zenitna udaljenost od ljetnog sve do zimskog solsticija raste (podnevna visina postaje sve manja), te je najveća (podnevna visina najmanja) 22. XII. Podnevni položaj Sunca pređe u toku godine meridijanski luk između sjevernog i južnog povratnog kruga dva puta, od juga na sjever i obratno od sjevera na jug.

Ove se promjene podnevne zenitne udaljenosti mogu jednostavno ustanoviti na gnomonu (vidi I. 4. Sl. 12) po podnevnoj duljini sjene vertikalne motke; točno se mjere meridijanskim instrumentom.

Deklinacija nebeskog tijela, koje se nalazi u meridijanu, jednaka je meridijanskom luku od tog tijela do ekvatora, izraženom u stupanjskoj mjeri (vidi I. 5.). Ako se tokom godine mijenja, kako je gore izloženo, zenitna udaljenost Sunca pri kulminaciji, onda mu se mijenja i udaljenost od nebeskog ekvatora, t. j. mijenja mu se deklinacija.

Mi vidimo na slici 35., da Sunce u položajima između ekvinokcija i ljetnog solsticija ima sjevernu (+) deklinaciju, u položajima između zimskog solsticija i ekvinokcija južnu (—) deklinaciju. Cijeli luk između najsjevernije kulminacione točke Sunca (u sjevernom povratnom krugu) i najjužnije kulminacione točke (u južnom povratnom krugu) iznosi 47^0. Udaljenosti krajnjih kulminacionih točaka od ekvatora iznose dakle $23^1/_2{}^0$. Prema tome:

Deklinacija se Sunca tokom godine stalno mijenja; ona od najveće južne vrijednosti —$23^1/_2{}^0$ *(u zimskom solsticiju) prolazi sve vrijednosti do najveće sjeverne vrijednosti* $+23^1/_2{}^0$ *(u ljetnom solsticiju) i na povratku ponovno sve vrijednosti od* $+23^1/_2{}^0$ *do —*$23^1/_2{}^0$*. Pri tom prolazi dva puta (u oba ekvinokcija) kroz nebeski ekvator, gdje ima deklinaciju* 0^0.

Sunčeva se deklinacija ne mijenja u svako doba godine jednako brzo. Najbrže se mijenja oko ekvinokcija (preko 23′ na dan), a najsporije oko solsticija (manje od 10″ na dan).

ZVIJEZDE STAJAČICE U OKOLICI SUNCA. Kad Sunce sja, ne vidimo zvijezde, koje su u to vrijeme na nebu. Stoga ne možemo Sunce na onom putu između zvijezda stajačica, koji ono tokom godine pređe, pratiti na taj način, da bilježimo zvijezde stajačice, pored kojih prolazi. Mi možemo međutim utvrditi *zviježđa,* kojima Sunce kroz godinu prolazi, ako pazimo na prve zvijezde stajačice, koje zasinu na zapadnom horizontu iza zalaza Sunca, i na posljednje zvijezde, koje se još vide na istočnom horizontu prije izlaza Sunca. Za takve zvijezde, koje dakle malo poslije Sunca zalaze ili malo prije njega izlaze, velimo, da one *helijakično* zalaze odn. izlaze. Stajačica, koja helijakično zalazi, nalazi se na nebu istočno od Sunca, jer je u dnevnom gibanju neba za njim, a koja helijakično izlazi, nalazi se zapadno od Sunca, jer je u dnevnom gibanju neba pred njim. Prema tome je *položaj Sunca među stajačicama određen tim, što se ono nalazi između stajačica sa helijakičnim zalazom i stajačica sa helijakičnim izlazom.*

Stalnim motrenjem zvijezda stajačica sa helijakičnim izlazom i onih sa helijakičnim zalazom utvrđeno je već u prastaro doba:

a) da Sunce prolazi nizom zviježđa od *zapada prema istoku,* dakle suprotno smjeru dnevnoga gibanja;

b) da se Sunce nakon godine dana opet vraća među iste stajačice.

PROMJENA SUNČEVE REKTASCENZIJE. Gibanje Sunca među stajačicama od zapada na istok, koje smo upoznali na osnovi motrenja helijakičnih izlaza i zalaza, pokazuje, da Sunce tokom godine ne mijenja samo deklinaciju, nego i rektascenziju.

Promjene rektascenzije možemo točnije odrediti, ako utvrđujemo kroz godinu *vrijeme, koje prođe između dviju uzastopnih gornjih kulminacija Sunca* (dva uzastopna podneva) i uporedimo ga sa *vremenom, koje prođe između dviju uzastopnih gornjih kulminacija iste zvijezde stajačice.*

Kako se nebeska sfera sa stajačicama u jednom danu okrene jedamput oko polarne osi od istoka prema zapadu, vrijeme između dviju uzastopnih gornjih kulminacija za sve je stajačice jednako; ali pojedina stajačica dođe to kasnije do kulminacije, što je na nebu smještena dalje na istok. Vrijeme između dviju

uzastopnih gornjih kulminacija Sunca je prosječno za otprilike 4 minute dulje nego između dviju gornjih kulminacija koje bilo zvijezde. Ako Sunce dakle prema stajačicama s kulminacijom zakasni u jednom danu za 4 minute, onda to znači, da ono kulminira zajedno sa jednom stajačicom, koja je istočno od onoga mjesta nebeske sfere, gdje je Sunce dan prije stajalo.

Poznato nam je (vidi I. 5.), da zvijezda ima to veću rektascenziju, što je dalje na istok od proljetne točke (ili točnije: što je dalje na istok satni krug te zvijezde od satnog kruga proljetne točke, t. zv. *kolura proljetne točke)*. Vremenska razlika između časova gornje kulminacije dviju zvijezda jednaka je razlici njihovih rektascenzija, izraženih u vremenskoj mjeri.

Prema tome:

Rektascenzija Sunca tokom godine raste prosječno svaki dan za otprilike $1^0 = 4^m$, *te naraste u godini dana od časa, kad je Sunce kulminiralo zajedno s proljetnom točkom, do časa, kad nakon godine dana opet kulminira zajedno s proljetnom točkom, od* 0^0 *do* 360^0 *ili* 0^h *do* 24^h.

Rektascenzija se Sunca ne mijenja tokom godine jednakom brzinom. Najbrže se mijenja oko solsticija (oko $4^1/_2$ minute na dan), a najsporije oko ekvinokcija (oko $3^1/_2$ minute na dan).

ZVJEZDANO NEBO U RAZLIČITA DOBA GODINE. Zvijezde, koje su u blizini Sunca, pa im se rektascenzija ne razlikuje mnogo od Sunčeve, pređu svoj vidljivi dnevni luk zajedno sa Suncem, pa kulminiraju oko podne i ne mogu se vidjeti. Na dijametralno suprotnoj strani nebeske sfere nalaze se zvijezde, kojih je rektascenzija oko $180^0 = 12^h$ veća nego Sunčeva, one kulminiraju oko 12^h kasnije, t. j. oko ponoći. Svakom zviježđu, koje je zajedno sa Suncem nad horizontom, pa je radi danjeg svjetla nevidljivo, odgovara na dijametralno suprotnoj strani nebeske sfere zviježđe, koje će oko 12^h kasnije, kad je Sunce već pod horizontom, biti nad horizontom, pa na noćnom nebu vidljivo. Koja zviježđa vidimo na noćnom nebu, zavisi prema tome o tom, među kojim se zvijezdama nalazi Sunce. Kako Sunce tokom godine ide iz zviježđa u zviježđe, mijenjaju se i zviježđa, koja kulminiraju oko ponoći, mijenja se dakle slika neba, koju vidimo u stanovito doba noći.

U godini dana naraste rektascenzija Sunca za 24^h, u mjesec dana dakle za 2^h, u 15 dana za 1^h. Ako jedna zvijezda ima na stanoviti dan godine rektascenziju za 12^h veću od Sunčeve, ona

kulminira taj dan u ponoći. Mjesec dana kasnije rektascenzija se te zvijezde razlikuje od Sunčeve samo za 10^h, jer je Sunčeva rektascenzija narasla za 2^h, pa će ta zvijezda kulminirati samo 10^h poslije Sunca, t. j. 2^h prije ponoći, daljnji mjesec dana kasnije kulminirat će već 4^h prije ponoći i t. d. Jednako se mijenjaju vremena izlaza, kulminacije i zalaza i drugih zvijezda, jer se međusobne udaljenosti zvijezda stajačica ne mijenjaju.

Prema tome:

Istu sliku zvjezdanog neba, koju jednoga dana u godini vidimo u stanovito doba noći, vidjet ćemo mjesec dana kasnije dva sata ranije, 15 dana kasnije jedan sat ranije.

Za datum mjesec dana raniji je dakako doba dana za 2^h kasnije.

Prema tome su jedna zviježđa karakteristična za zimsko nebo, druga za ljetno. U našim krajevima su za zimsko nebo, ako gledamo na jug, karakteristična zviježđa Bik, Orion, Veliki i Mali Pas i dr., za ljetno nebo zviježđa Djevica, Vaga, Škorpijon, Strijelac, Bootes, Orao i dr.

Najsjajnija stajačica našega neba, Sirius (α Velikoga Psa), izlazi helijakično oko 20. jula (»pasji dani« od konca jula do konca augusta). Prije toga se Sirius ne može vidjeti, jer je preblizu Suncu (kulminira zajedno sa Suncem u početku jula). Kako Sunce odmiče sve više prema istoku, Sirius izlazi sve ranije prije izlaza Sunca, u jeseni on izlazi već oko ponoći; u početku januara izlazi pri zalazu Sunca, pa je tada cijelu noć na nebu i kulminira u ponoći.

Karte zvjezdanog neba, koje se nalaze na kraju knjige, date su za 1. januara, 1. aprila i 1. augusta u 22^h. Ali one vrijede i za druge mjesece u drugo doba dana. Tako na pr. karte neba V. i VI. vrijede, osim za 1. augusta 22^h, još i za 1. septembra 20^h, za 1. jula 24^h.

ZODIJAK ILI ŽIVOTINJSKI KRUG. Put, koji Sunce prividno pređe u godini dana od zapada prema istoku, obilježen je sa *12 zviježđa* nanizanih u jednom pojasu nebeske sfere. Zviježđa ovoga pojasa nazvana su većim dijelom imenima životinja, a imaju i svoje posebne znakove. *Ovaj nebeski pojas, kojim Sunce prolazi na svom prividnom godišnjem putu, zove se* zodijak[1] ili životinjski krug.

Zviježđa zodijaka (vidi karte neba II., IV., VI) i njihovi znakovi jesu

na sjevernoj hemisferi neba:

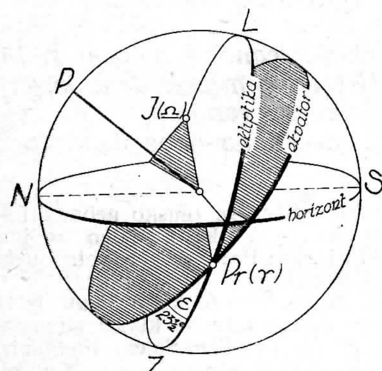
Ribe ♓, Ovan ♈, Bik ♉, Blizanci ♊, Rak ♋, Lav ♌,

na južnoj hemisferi neba:

Djevica ♍, Vaga ♎, Škorpion ♏, Strijelac ♐, Jarac ♑, Vodenjak ♒.

[1] zodion grčki = životinjica

EKLIPTIKA. Zodijak nam daje samo nebeski pojas, u kojem se zbiva prividno godišnje gibanje Sunca. Točnu nebesku stazu gibanja Sunca dobit ćemo bilježenjem deklinacija i rektascenzija nebeskih točaka, u koje Sunce dođe tokom svog godišnjeg gibanja.



Sl. 36

Na taj je način utvrđeno, da se Sunce prividno giba suprotno smjeru dnevnog gibanja po jednom glavnom krugu nebeske sfere, koji ono obiđe u jednoj godini.

Glavni krug nebeske sfere, koji Sunce prividno pređe u godini dana, zove se e k l i p t i k a.[1]

Ravnina ekliptike čini sa ravninom nebeskog ekvatora kut od $23^1/_2{}^0$, koji se zove p r i k l o n e k l i p t i k e (Sl. 36.).

Ekliptika siječe nebeski ekvator u dvjema točkama, koje se zovu e k v i n o k c i j s k e t o č k e (točke Pr i J sl. 36.).

Jedna od tih točaka, gdje Sunce iz južne hemisfere neba prelazi u sjevernu, je p r o l j e t n a t o č k a (Pr, znak ♈) (poznata nam već iz glave I. 5.), druga je j e s e n s k a t o č k a (J, znak ♎). U proljetnoj je točki Sunce 21. marta, u jesenskoj 23. septembra. Na te dane, kako je već gore izloženo, danji je luk Sunca jednak noćnom, jer dnevni put Sunca pada u nebeski ekvator.

Najveću udaljenost od nebeskog ekvatora imaju na ekliptici točke L i Z (sl. 36.), koje se zovu s o l s t i c i j s k e t o č k e. L sa deklinacijom $+23^1/_2{}^0$ je *točka ljetnog solsticija,* Z sa deklinacijom $-23^1/_2{}^0$ je *točka zimskog solsticija.* U prividnom godišnjem gibanju Sunce, pošavši od Pr, ide preko L, J i Z, te se nakon godine dana vraća u Pr. U točki L se Sunce nalazi, kako je već gore izloženo, 22. juna, u točki Z 22. decembra, na te dane dnevni krug Sunca pada u sjeverni, odn. južni povratni krug.

[1] ekleipo, grčki = izostati, ekliptika zapravo krug pomrčina, jer je u tom krugu uz Sunce i Mjesec, kad je pomrčina.

Ni ekvator, ni krugovi nebeske sfere paralelni sa ekvatorom, koji prolaze pojedinim točkama ekliptike, ne daju nam točno dnevne putove Sunca. Sunce, gibajući se neprekidno na ekliptici, ne odmiče samo na istok, nego ono radi priklona ekliptike prema ekvatoru neprestano mijenja i udaljenost od ekvatora. Ako je Sunce na pr. jednoga dana između 21. III. i 22. VI. zašlo sa izvjesnom sjevernom večernjom amplitudom, jutarnja amplituda pri izlazu idućeg dana već je nešto veća, a večernja amplituda toga dana opet veća od jutarnje.

Zviježđa zodijaka, koja se zovu i *ekliptička zviježđa,* jer ekliptika njima prolazi, ne dijele ekliptiku na jednake dijelove. Po starijoj praksi u astronomiji dijelila se ekliptika na 12 jednakih dijelova, a svaki se taj dio označio znakom najbližeg zviježđa zodijaka, pa se govorilo, da se Sunce nalazi na pr. u »znaku Ovna«, t. j. u onoj dvanaestini ekliptike, u kojoj je zviježđe Ovna.

DNEVNO GIBANJE SUNCA U RAZLIČITIM ŠIRINAMA. Kako Sunce na svom prividnom godišnjem putu dolazi u nebeske točke različite deklinacije, dakle i različite udaljenosti od nebeskog pola, prikazat će se i njegov dnevni put različito za motritelje u različitim geografskim širinama.

Prema onom, što je izloženo u glavi I. 6. (Sl. 23), za točku na zemaljskom ekvatoru svi su danji lukovi Sunca kroz cijelu godinu polukrugovi, kroz cijelu je godinu dan jednak noći. Ali u zenit dolazi Sunce ovdje pri kulminaciji samo 21. III. i 23. IX., kad je u nebeskom ekvatoru (Sl. 23).

Na sjevernom polu Zemlje, gdje su sve zvijezde sjeverne nebeske hemisfere cirkumpolarne, jer nebeski ekvator pada u horizont, a pol u zenit, Sunce od 21. III. do 23. IX., kad je na sjevernoj nebeskoj hemisferi, uopće ne zalazi, a od 23. IX. dalje do 21. III. uopće ne izlazi. Pola godine vlada *polarni dan,* pola godine *polarna noć.*

Na južnom polu Zemlje obratno polarni dan traje od 23. IX. do 21. III., a polarna noć od 21. III. do 23. IX.

U polarnom danu Sunce kruži na polovima Zemlje oko zenita, pri čemu su krugovi do solsticija sve viši nad horizontom i manji, a onda opet sve niži i veći.

Na mjestu sa geografskom širinom $\varphi = +66\frac{1}{2}{}^0$ ($= 90^0 - 23\frac{1}{2}{}^0$) ravnina nebeskog ekvatora ima prema ravnini horizonta nagib od $23\frac{1}{2}{}^0$, tako da ekliptika dnevnom vrtnjom neba dolazi u horizont (Sl. 37). Stoga Sunce 22. juna ne zalazi, nego se samo dotiče horizonta u donjoj kulminaciji u sjevernoj točki. 22. decembra, kad Sunce ima najveću južnu deklinaciju, ono ne izlazi, cijeli je dnevni krug Sunca pod horizontom, te se dotiče horizonta samo u gornjoj kulminaciji u južnoj točki.

Za sva mjesta Zemlje sa širinom većom od $+66\frac{1}{2}{}^0$ nagib je ekvatora prema horizontu manji od $23\frac{1}{2}{}^0$, pa jedan dio ekliptičkih zvijezda uopće ne dolazi dnevnom vrtnjom neba nad horizont, a jedan dio ekliptičkih zvijezda su cirkumpolarne. Zbog toga u jednom dijelu godine, oko 22. decembra, Sunce ne izlazi iznad horizonta, te traje *polarna noć,* dok u otprilike jednako dugom vremenu oko 22. juna Sunce ne zalazi. Što se više udaljujemo od paralele sa $\varphi = +66\frac{1}{2}{}^0$ prema sjevernom polu, polarna noć i polarni dan postaju dulji, a iščezava sve više onaj dio godine, gdje Sunce svaki dan i izlazi i zalazi, dok napokon u polu polarna noć i polarni dan zapremaju po pola godine.

Primjer: Kada započinje, a kada svršava polarna noć u Hammerfestu (Norveška, $\varphi = 70^0 40'$)?

Polarna noć započinje na onaj dan između 23. IX. i 22. XII. kad je Sunce idući od ekvatora na jug dostiglo toliku južnu deklinaciju, da mu je visina pri gornjoj kulminaciji = 0. Kako su (sl. 26) deklinacija δ, kulminacijska visina h i geografska širina φ vezane jednadžbom

$$\varphi + 90^0 - \delta + h = 180^0,$$

t. j.

$$\delta = \varphi + h - 90^0,$$

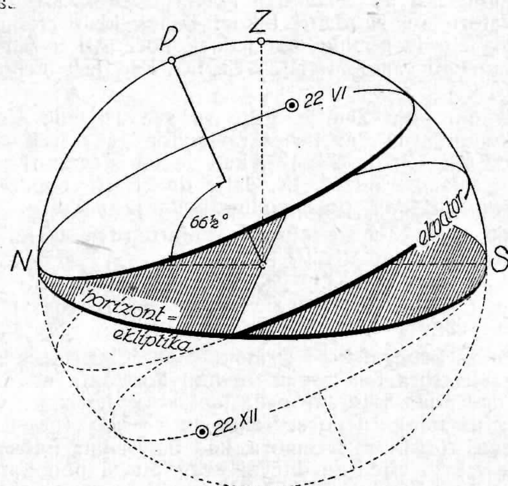
to je za $h = 0$ i geografsku širinu Hammerfesta

$$\delta = \varphi - 90^0 = 70^0 40' - 90^0 = -19^0 20'.$$

Polarna noć započinje prema tome u Hammerfestu na onaj dan, kad Sunce u jeseni dostigne južnu deklinaciju $-19^0 20'$.

Polarna noć svršava, kad Sunce na povratku od južnog povratnog kruga k ekvatoru (zimi) opet dostigne deklinaciju $-19^0 20'$.

U efemeridama Sunca naći ćemo, da Sunce ima deklinaciju $-19^0 20'$ dne 19. XI. i 24. I. Polarna noć u Hammerfestu započinje prema tome 19. XI. i traje do 24. I.



Sl. 37

10. REVOLUCIONO GIBANJE ZEMLJE OKO SUNCA

TUMAČENJE GODIŠNJEG GIBANJA SUNCA REVOLUCIJOM ZEMLJE. Može li se i prividno godišnje gibanje Sunca po ekliptici rastumačiti jednim gibanjem Zemlje i kakvim?

I Zemlja i Sunce nalaze se u cijeloj godini u jednoj svemirom položenoj ravnini — u ravnini onog kruga, u kom se prividno giba Sunce, u ravnini ekliptike. U toj se ravnini mora nalaziti u cjelini i putanja Zemlje, ako se ona giba po svemirskom prostoru.

Kako su zvijezde stajačice neuporedivo dalje od Zemlje nego Sunce, to treba zamisliti ovu Zemljinu putanju opasanu jednim veoma udaljenim pojasom zviježđa, zviježđa zodijaka, razasutih po dalekom svemiru.

Zamislimo sada, kako će nam se prikazati pojave, ako Sunce miruje, a Zemlja se oko njega giba u ravnini ekliptike. Gledamo li putujući sa Zemljom kroz svemir sa raznih Zemljinih položaja Sunce, dok ono stoji mirno, onda nam zviježđa zodijaka daju pozadinu, pred kojom vidimo Sunce i na koju gledajući projiciramo Sunce. Kako Zemlja mijenja svoje mjesto, projicirat će nam se i Sunce u razna zviježđa i prividno će se Sunce gibati pred onom dalekom pozadinom zviježđa u smjeru suprotnom od onoga, u kom se stvarno giba Zemlja. Ako na sl. 38. Z_I, Z_{II} znače dva položaja Zemlje na njenoj putanji, onda na pr. gledajući iz mjesta Z_I vidimo Sunce među zvijezdama Lava, a iz položaja Z među zvijezdama Djevice (zviježđe Lava je u ekliptici zapadno od Djevice).

Ako Zemlja u toku godine opisuje, obilazeći oko Sunca, krug ili zatvorenu krivulju, koja je približno krug, onda će za motritelja na Zemlji prividno i Sunce opisati na nebu krug u onoj ravnini, u kojoj se stvarno giba Zemlja. Prema tome bi se, ako gledamo sa Zemlje, koja se giba oko Sunca, pojava prividnog godišnjeg gibanja Sunca zbivala baš onako, kako je i vidimo.

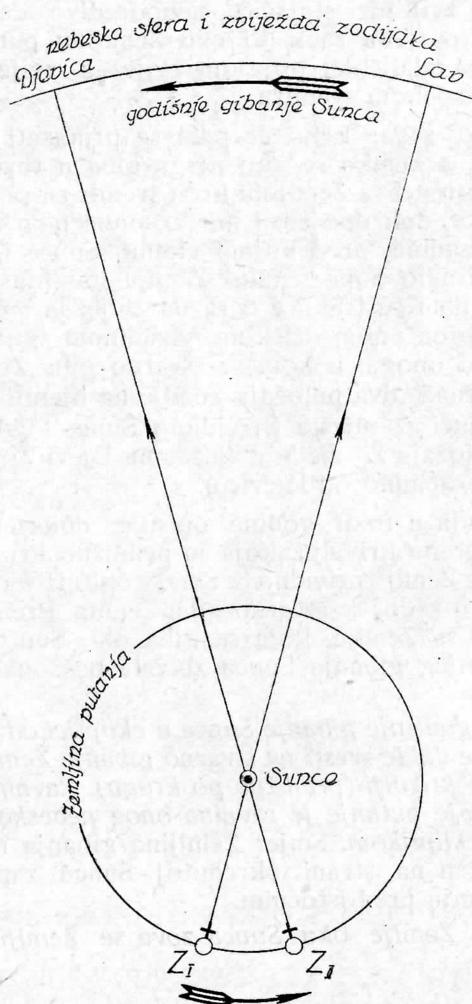
Prividno godišnje gibanje Sunca u ekliptici od zapada prema istoku može se dakle svesti na stvarno gibanje Zemlje oko Sunca po zatvorenoj krivulji (približno po krugu). Ravnina te Zemljine stvarne godišnje putanje je ravnina onog nebeskog kruga, koji smo nazvali ekliptikom. Smjer Zemljina gibanja na toj putanji je takav, da su na strani okrenutoj Suncu zapadni dijelovi Zemlje u gibanju pred istočnim.

Kruženje Zemlje oko Sunca zove se Zemljina revolucija.[1]

---

[1] Od lat. volvo = valjam; Zemlja se »valja« oko Sunca, jer se ona pri gibanju oko Sunca još i vrti oko svoje osi.

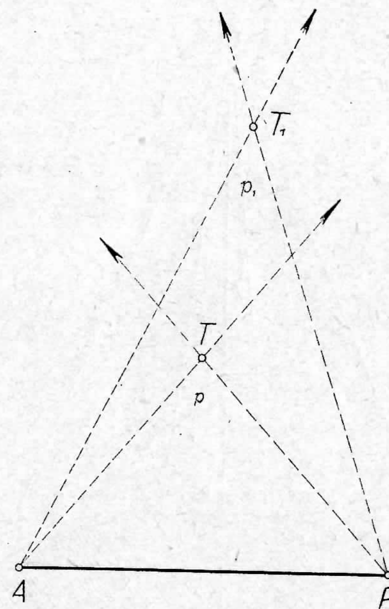
DOKAZI ZA REVOLUCIJU ZEMLJE; PARALAKSA ZVIJEZDA STAJAČICA. Masa Sunca u odnosu prema Zemljinoj masi veoma je velika, pa je iz fizikalnih razloga neshvatljivo, da bi se tako velika masa gibala oko male, dok je mala nepomična.



Sl. 38

U historijskom razvitku dovelo je do nauke o revoluciji Zemlje proučavanje gibanja planeta. Kako će biti razloženo niže (I. 12.), gibanje planeta vrlo je zamršeno i teško razumljivo, ako se Zemlja smatra nepomičnom, a gibanje planeta postaje jednostavnim, ako se uzme, da ga promatramo sa stajališta, koje se i samo giba oko Sunca kao i planeti. Kako je tim Zemlja uvrštena u red planeta, koji kruže oko Sunca, gibanje Zemlje nije nam potrebno samo za tumačenje godišnjeg prividnog gibanja Sunca, nego i za razumijevanje cijelog Sunčeva sustava. Stoga je *glavni dokaz za revoluciju Zemlje baš u nauci o gibanju planeta.*

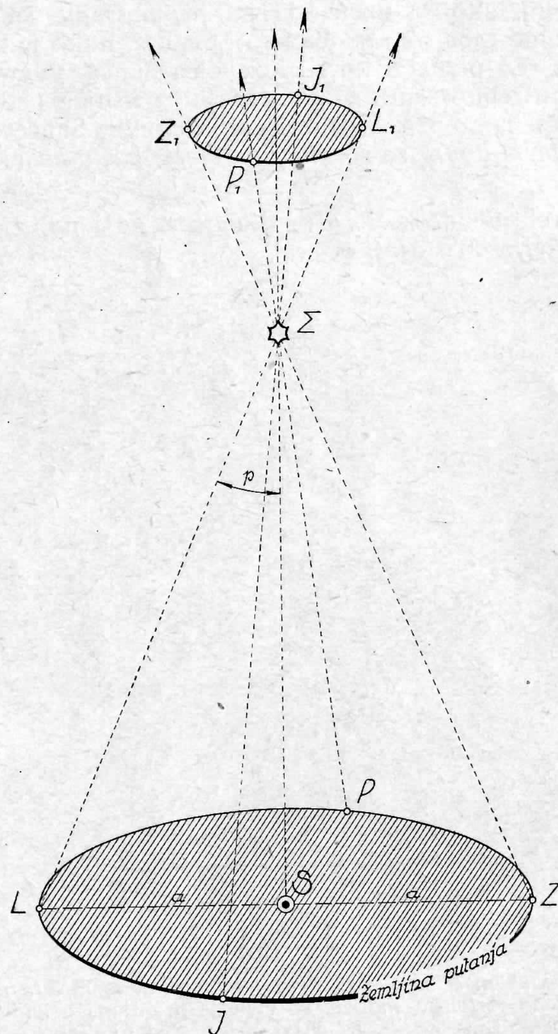
Od direktnih dokaza za revoluciju Zemlje najistaknutiji je *paralaksa zvijezda stajačica.*



Sl. 39

Pod *paralaksom se razumijeva prividna promjena mjesta nekog tijela radi promjene stajališta motritelja.* Ova je promjena prividnog mjesta tijela uzrokovana tim, što se mijenja smjer gledanja, ako promijenimo stajalište. Tijelo T (Sl. 39) gledamo iz točke A u smjeru AT, iz B u smjeru BT. *Kut p,* što ga čine ova dva smjera, zove se *paralaksa.*

Neka su (Sl. 39) T i T_1, dva tijela, prvo bliže, drugo dalje. Pođemo li iz A u B, promijenio se smjer gledanja tijela T za kut p, a tijela T_1 za kut p_1 i jasno je, da je $p > p_1$. *Paralaksa p je prema tome to manja uz istu »bazu« AB, što je tijelo dalje.*



Sl. 40

Zvijezde stajačice su toliko udaljene od nas, da promjene našeg stajališta na samoj Zemlji ne daju nikakvu paralaksu stajačica. Ako se međutim Zemlja giba oko Sunca u godišnjem revolucionom gibanju, onda motritelj zajedno sa Zemljom prevaljuje u svemiru tokom godine ogroman kružni put (kojega promjer iznosi oko 300 milijuna kilometara). Očekujemo dakle, da će se ista zvijezda stajačica sa raznih mjesta godišnje Zemljine putanje vidjeti u raznim smjerovima.

Krug $PJLZ$ (sl. 40) neka je godišnja putanja Zemlje, točke P, L, J, Z položaji Zemlje na početku proljeća, ljeta, jeseni, zime. Iz tih točaka vidimo zvijezdu Σ u smjerovima PP_1, LL_1, JJ_1, ZZ_1, zvijezda prema tome opisuje u godini dana na nebu mali krug $P_1L_1J_1Z_1$ (ili elipsu). Srednje mjesto zvijezde bilo bi u središtu tog »paralaktičnog kruga« (odn. elipse), na tom bismo mjestu, t. j. u smjeru $S\Sigma$ vidjeli zvijezdu, kad bismo stajali na Suncu. Polumjer toga kruga (odn. poluos elipse) u kutnoj mjeri (kut p) označuje se kao *paralaksa zvijezde stajačice*. Zbog paralakse vidimo zvijezdu na pr. iz točke L pomaknutu iz srednjeg mjesta u točku L_1, na sl. 40 na desno, u onom smjeru dakle, u kojem stoji Sunce, t. j. u smjeru polumjera Zemljine putanje.

Kako su zvijezde stajačice veoma udaljene od nas, najbliža preko 200 000 puta dalja nego Sunce, paralakse su im vrlo male. Određivanje paralaksa traži stoga vrlo točna astronomska mjerenja. Ipak je pošlo za rukom odrediti paralakse znatnom broju zvijezda stajačica i time učvrstiti nauku o revoluciji Zemlje.

ABERACIJA. Smjerom prividnog pomaka razlikuje se paralaksa zvijezda stajačica bitno od drugog prividnog pomaka, koji se također svodi na revoluciju Zemlje, pa se kroz godinu mijenja. Uzrok je ovomu pomaku, koji se zove *aberacija,* u tom, što zrake svjetlosti upadaju na tijelo, koje se giba, priklonjene prema smjeru gibanja. Stoga je smjer, u kojemu vidimo zvijezdu, radi gibanja Zemlje jače priklonjen prema momentanom smjeru Zemljina gibanja, t. j. smjeru *tangente* Zemljine putanje. U taj smjer pada dakle i prividni pomak aberacije, pa je okomit na paralaktičnom pomaku. Od paralakse zvijezda stajačica aberacija se znatno razlikuje i veličinom; dok nijedna paralaksa zvijezda stajačica ne dostigne 1″, aberacija iznosi oko 20″. Aberacija je takoder dokaz za revoluciju Zemlje. Aberaciju je otkrio B r a d l e y g. 1728. tražeći paralaksu zvijezda stajačica.

Mi razmatramo gibanja nebeskih tijela g e o c e n t r i č n o,[1] ako zamišljamo, da *Zemlja miruje* u središtu nebeske sfere, dok se Sunce i ostala nebeska tijela okreću oko Zemlje.

Razmatranje nebeskih gibanja je h e l i o c e n t r i č n o,[1] ako zamišljamo, da *Sunce miruje,* dok se Zemlja okreće oko Sunca.

---

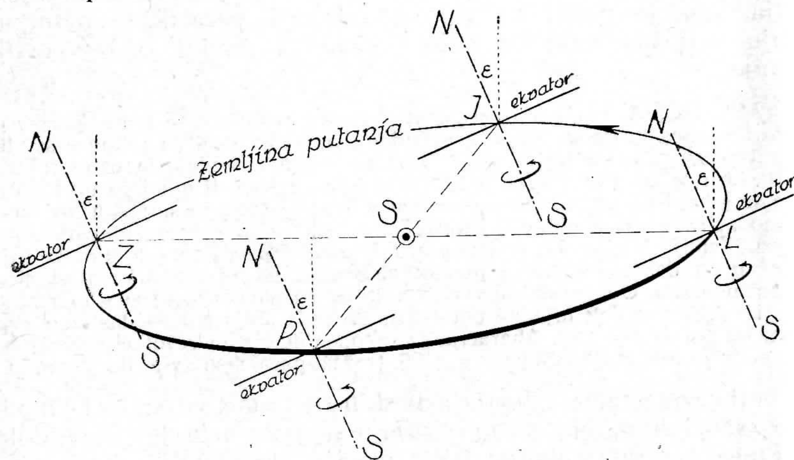
[1] ge, grč. = zemlja; helics, grč. = Sunce; centrum, lat. = središte.

U gl. I. 9 prikazano je godišnje gibanje Sunca *geocentrično*, dok je u gl. I. 10 ovo gibanje s *heliocentričnog* gledišta rastumačeno revolucijom Zemlje. U III. dijelu bit će izloženo, da samo heliocentričná nauka može potpuno rastumačiti nebeska gibanja.

ROTACIJA ZEMLJE U ODNOSU PREMA REVOLUCIJI. Kad bi rotacijska os Zemlje bila okomita na ravnini ekliptike, u kojoj se Zemlja giba oko Sunca, onda bi se nebeski ekvator morao podudarati sa ekliptikom. Međutim mi znamo, da ravnina nebeskog ekvatora čini sa ravninom ekliptike kut priklona $\varepsilon = 23^1/_2{}^0$ (vidi I. 9.). Ako ravnine ekvatora i ekliptike čine kut ε, onda i okomice na njima moraju zatvarati isti kut. Prema tome:

Rotacijska os (polarna os) Zemlje ne stoji okomito na ravnini ekliptike, nego sa okomicom na ravnini ekliptike čini kut $\varepsilon = 23^1/_2{}^0$.

Kako polarna os zadržava — bar približno — svoj položaj u svemiru, jer prolazi nebeskim polom, moramo zaključiti, da Zemljina rotacijska os pri kruženju Zemlje oko Sunca zadržava svoj položaj, t. j. svi su njeni položaji tokom godine među sobom paralelni.



Sl. 41

Sl. 41. prikazuje Zemljinu os u četiri glavna položaja Zemlje (u ekvinokcijima i solsticijima), kojima ona prolazi u svom godišnjem gibanju oko Sunca. U svima položajima os Zemlje

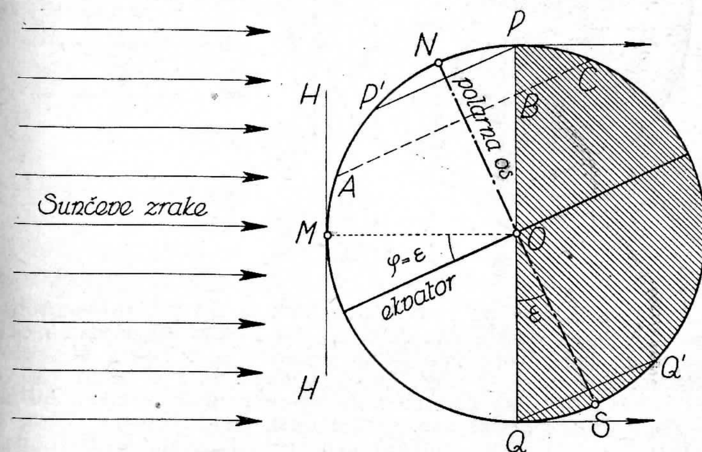
NS čini sa okomicom ekliptike (Sl. 41., isprekidani pravci) kut $\varepsilon = 23^1/_2{}^0$. Sunčeve zrake imaju smjer polumjera Zemljine putanje.

Sunčeve zrake čine u položajima *P* i *J* sa Zemljinom osi *NS* pravi kut. U tim položajima Zemlje Sunčeve zrake padaju dakle u ekvatorsku ravninu, Sunce za motritelja na Zemlji stoji prividno u ekvatoru, mi imamo ekvinokcij, *P* i *J* su proljetna i jesenska točka.

U položaju *L* Sunčeva zraka *SL* upada sjeverno od ekvatorske ravnine (okomite na osi) i ima prema ekvatoru kut nagiba ε na sjever; Sunce se u tom položaju Zemlje nalazi u sjevernoj deklinaciji ε, u ljetnom solsticiju.

Naprotiv u položaju Z Sunčeva zraka *SZ* upada južno od ekvatorske ravnine i ima prema njoj kut nagiba ε na jug; Sunce ima tada južnu deklinaju ε, ono je u zimskom solsticiju.

Iz ovoga vidimo, da je *prividno gibanje Sunca u deklinaciji i izmjena godišnjih doba na Zemlji uslovljena tim, što rotacijska os Zemlje ne stoji okomito na ravnini ekliptike.*

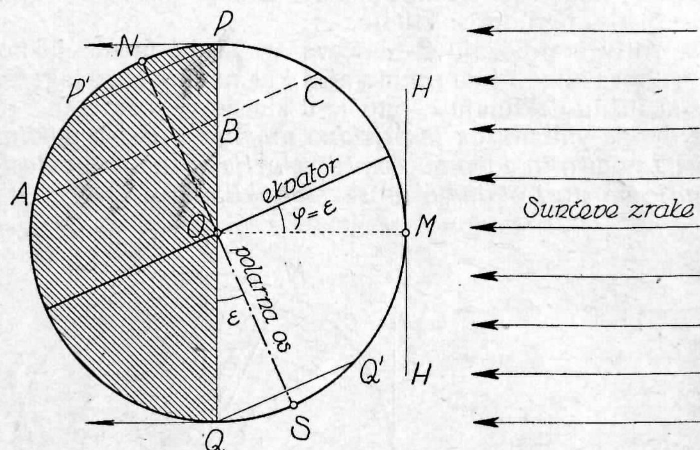


Sl. 42

Ove odnose prikazuju slike 42, 43, 44 podrobnije.

Sl. 42 prikazuje presjek Zemlje, položen polarnom osi Zemlje i Suncem u položaju ljetnoga solsticija (L na sl. 41). *NS* je Zemljina os, *PQ* je pravac okomit na ravnini ekliptike, dakle i na Sunčevim zrakama, koje dolaze smjerom strelica s lijeva. Osjenjena je noćna polovica Zemlje.

Spojnica središta Zemlje i Sunca *MO* čini sa ekvatorom kut ε, deklinacija Sunca je dakle ε. Točka *M* ima geografsku širinu $\varphi = \varepsilon = 23^1/_2{}^0$, Sunčeve zrake upadaju okomito na horizont *HH* mjesta *M*, motritelj u tom mjestu ima dakle u podne Sunce u zenitu. Točke Zemlje, koje su na kaloti, ograničenoj paralelom *PP'* sa geografskom širinom $\varphi = 90^0 - \varepsilon = 66\frac{1}{2}{}^0$, za vrijeme cijele rotacije obasjane su od Sunca, na toj kaloti vlada polarni dan. Naprotiv kalota ograničena paralelom *QQ'*, $\varphi = -(90^0 - \varepsilon)$ za vrijeme cijele rotacije nije zahvaćena od Sunčevih zraka, ovdje je polarna noć. Od ekvatora je, kao uvijek, osvijetljena Suncem jedna polovica, a druga je u sjeni. Od jedne povoljne paralele *A—B—C* na sjevernoj hemisferi Zemlje veći je dio *(A—B)* osvijetljen, manji *(B—C)* u sjeni, dan je dulji od noći.

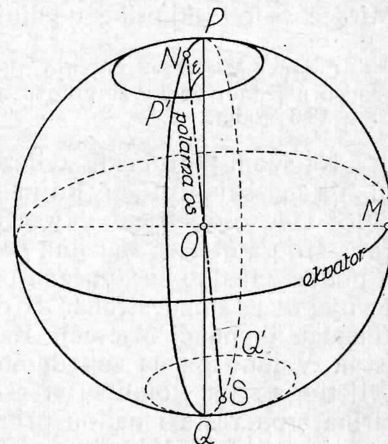


Sl. 43

Slika 43 prikazuje položaj Zemlje i njene osi u zimskom solsticiju (Z na sl. 41). Smjer od središta Zemlje k Suncu *OM* čini sada sa ekvatorom kut ε na jug, Sunce ima južnu deklinaciju ε. Točka *M*, kojoj je geografska širina $\varphi = -23\frac{1}{2}{}^0$, ima u podne Sunce u zenitu. Sjeverna polarna kalota *PNP'* ima polarnu noć, jer je potpuno u sjeni, južna polarna kalota *QSQ'* polarni dan, jer je cijeli dan na suncu. Ekvator je opet polovicom osvijetljen, polovicom u sjeni. Paralela *A—B—C* na sjevernoj hemisferi većim je dijelom *(A—B)* u sjeni, manjim *(B—C)* osvijetljena, noć je dulja od dana.

Slika 44 prikazuje Zemlju u položaju jednog ekvinokcija *(P* ili *J* sl. 41). Zemljina os *NS* je sada okomita na Sunčevim zrakama, a ima prema crtaćoj ravnini sl. 44 kut nagiba ε. Spojnica središta Zemlje i Sunca OM pada u ekvator, Sunce ima deklinaciju nula. Polarni dan imaju samo polovi Zemlje *N* i *S*. Sunce im je upravo u horizontu. Ravninom *NP'QSQ'P*, koja je okomita na Sunčevim zrakama, a ide polarnom osi, razdijeljena je Zemljina površina na osvijetljenu i neosvijetljenu polovicu tako, da je od svake paralele jedna polovica osvijetljena, druga u sjeni, na cijeloj Zemlji vlada jednakost dana i noći, izuzevši same polove.

PRECESIJA EKVINOKCIJA. Ponovnim određivanjem nebeskih koordinata zvijezda stajačica u dugim vremenskim razmacima utvrđeno je, da položaj proljetne, a s njom i jesenske točke nije stalan, nego da se obje *ekvinokcijske točke pomiču na ekliptici suprotno prividnom godišnjem gibanju Sunca.* To pomicanje iznosi *50" u godini*, a zove se p r e c e s i j a e k v i n o k c i j a.



Sl. 44

Uzrok je precesiji ekvinokcija u tom, što položaj rotacijske osi Zemlje, a s njom i nebeske polarne osi i nebeskog ekvatora nije stalan (gl. III. 8.).

11. GIBANJE MJESECA

Mjesečevo prividno gibanje relativno prema zvijezdama stajačicama lako je zapaziti i ono se moglo već u najstarije doba dobro proučavati, jer se Mjesec vidi na nebu istodobno sa zvijezdama stajačicama i on mijenja svoj položaj prema zvijezdama tako brzo, da će pomnjivi motritelj već u vremenu manjem od jednog sata utvrditi vidan pomak.

Mjesec se prividno giba po putanji blizu ekliptike u stalnom smjeru godišnjeg gibanja Sunca, dakle od zapada prema istoku, tako da on dođe opet u isti položaj prema zvijezdama stajačicama (kulminira sa istim zvijezdama stajačicama) nakon vremena od *27 dana 7 sati 43 minute*. Ovo se vrijeme zove s i d e r i č n i m j e s e c. U sideričnom mjesecu Mjesec pređe na nebu potpuni krug, 360⁰, te prema tome on odmakne u jednom danu na istok oko 13⁰, a u jednom satu otprilike za dužinu jednaku svom prividnom promjeru. U jednoj polovici svoje putanje Mjesec se nalazi južno od ekliptike, u drugoj sjeverno od nje,

te on prema tome u jednom sideričnom mjesecu presiječe ekliptiku dva puta. Točke, u kojima Mjesečeva putanja siječe ekliptiku, zovu se *čvorovi; uzlazni čvor* je onaj, gdje Mjesec prelazi s juga na sjever, *silazni,* gdje prelazi sa sjevera na jug. Mjesec se od ekliptike udaljuje na sjever i na jug najviše 5^0.

Čvorovi Mjesečeve putanje nijesu stalne točke na ekliptici, nego se pomiču u jednoj godini za gotovo 20^0 na zapad. Čvor obiđe cijelu ekliptiku u 18,6 godine.

Na svom putu među zvijezdama Mjesec pokazuje mijene ili faze svjetlosti, u kojima se različiti dijelovi Mjesečeve ploče vide osvijetljeni. Mjesečeve se faze javljaju prema položaju, što ga Mjesec zauzima prema Suncu. Kad Mjesec kulminira u podne zajedno sa Suncem, onda ga ne vidimo, okrenuta nam je njegova tamna strana. U ovoj fazi Mjesec se zove mlad (mlađak ili mladi Mjesec). Kad on sada odmiče od Sunca na istok, vidimo ga na zapadnom nebu iza zalaza Sunca u obliku svijetloga srpa, komu su vršci okrenuti na istok. Iz dana u dan širina srpa raste i nakon približno 7½ dana osvijetljena je zapadna polovica Mjesečeve okrugle ploče. Ova se faza zove prva četvrt. Nakon daljih 7½ dana, dakle približno 15 dana nakon mlađa, osvijetljena je cijela Mjesečeva ploča; ova se faza zove uštap ili pun Mjesec. Puni Mjesec izlazi navečer, kulminira u ponoći i zalazi ujutro, te je cijelu noć na nebu. Nakon uštapa osvijetljena se ploha opet umanjuje i oko 7½ dana iza uštapa osvijetljena je samo istočna polovica Mjeseca, Mjesec je u zadnjoj četvrti. U daljih 7½ dana Mjesec poprima oblik sve užeg srpa, kojemu vršci sada gledaju na zapad i koji vidimo na istočnom nebu prije izlaza Sunca, a napokon iščezne, jer je opet kao mlađ nevidljiv. Od glavnih se faza Mjeseca mlađ i uštap zovu sizigije, a prva i zadnja četvrt kvadrature.

Vrijeme od mlađa do mlađa, u kom Mjesec prođe sve faze, zove se sinodični mjesec, a iznosi *29 dana 12 sati 44 minute* (29,53 dana).

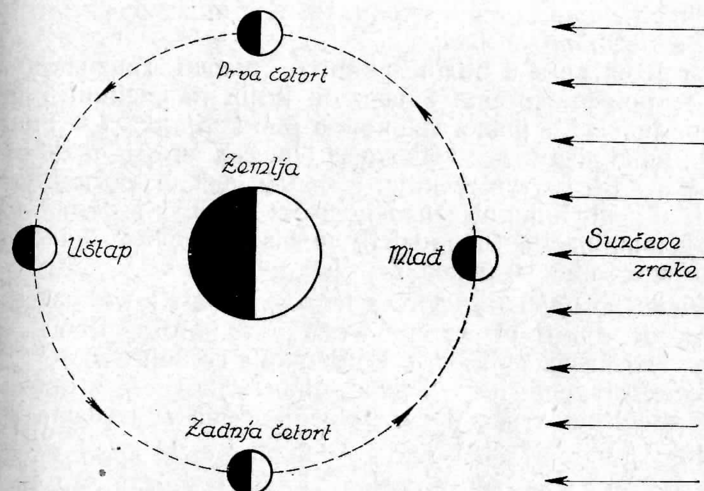
Sinodični je mjesec za gotovo 2½ dana duži od sideričnog zbog toga, što Mjesec, kad se, prešavši od mlađa u sideričnom mjesecu 360^0, vrati na isto mjesto među zvijezdama, ne nađe više ondje Sunca, jer je ono u tom vremenu na svom godišnjem putu također odmaklo na istok; Mjesecu trebaju onda još ona 2½ dana preko sideričnog mjeseca, da opet stigne Sunce.

Prividno gibanje i faze Mjeseca već su astronomi staroga vijeka znali ispravno rastumačiti tim,

a) što je Mjesec kuglasto tamno tijelo, koje svijetli samo onda, kad je osvijetljeno od Sunca,

b) *što kruži oko Zemlje na putanji, koje ravnina čini sa ravninom ekliptike kut od 5^0.*

Na slici 45., gdje zrake Sunca, koje je u neuporedivo većoj daljini od Zemlje nego Mjesec, dolaze paralelno, vidimo, kako je kod mlađa tamna strana Mjeseca okrenuta svijetloj strani Zemlje, a kod uštapa sva svijetla strana Mjeseca noćnoj strani Zemlje; u kvadraturama je ona polovica Mjeseca, koju sa Zemlje vidimo, raspolovljena granicom između osvijetljenog i tamnog dijela Mjeseca.



Sl. 45

12. PRIVIDNO GIBANJE PLANETA

Na noćnom nebu uz golemi broj zvijezda stajačica, koje ne mijenjaju vidljivo međusobnog položaja i tvore zviježđa, vidimo i mali broj planeta, zvijezda lutalica, koje se gibaju među stajačicama i prelaze iz zviježđa u zviježđe. Stari je vijek poznavao pet planeta, Merkur, Veneru, Mars, Jupiter

i Saturn, a u novije doba nađeni su još veliki planeti Uran, Neptun, Pluton i velik broj malih planeta. Prvih 5 planeta vidljivi su i prostim okom.

Prividno gibanje planeta bilo je već u prastaro doba predmetom pomnjivog motrenja. Putovi, koje planeti prividno prelaze među stajačicama tokom mjeseca i godina, pokazuju osobine, koje su bile zagonetne. Zamršene putanje planeta učinile su, da je gibanje planeta bilo (a nažalost donekle još je i danas) osnovom kojekakvog praznovjerja, među inim astrološkog vjerovanja, da postoji veza između gibanja planeta i toka ljudskog života.

Kako god se gibali planeti, oni se uvijek nalaze u *blizini ekliptike,* onog kruga na nebu, koji je obilježen sa dvanaest zviježđa zodijaka i u kom se Sunce giba u svom godišnjem gibanju od zapada prema istoku. Planete možemo prema tome naći *u zviježđima zodijaka.*

Na svom putu u blizini ekliptike planeti zauzimaju vrlo različite položaje prema Suncu, od kojih najistaknutiji imaju posebna imena. Za planet velimo, da je u *konjunkciji sa* Suncem, ako je u isto vrijeme sa Suncem, ako su dakle planet ako on kulminira u isto vrijeme sa Suncem, ako su dakle planet i Sunce na istoj strani Zemlje. Planet je pak u *opoziciji* prema Suncu, ako on kulminira nad horizontom, kad je Sunce baš u donjoj kulminaciji. U opoziciji su planet i Sunce na dijametralno suprotnim stranama Zemlje.

Sinodično ophodno vrijeme jednog planeta zove se vrijeme, koje prođe, dok se planet opet vrati u isti položaj prema Suncu (na pr. vrijeme između dviju konjunkcija sa Suncem).

Siderično ophodno vrijeme planeta zove se vrijeme, iza kojeg se planet vraća u isti položaj prema zvijezdama stajačicama.

Sinodično ophodno vrijeme S i siderično ophodno vrijeme T mogu se jedno iz drugog izračunati.

Neka je siderično ophodno vrijeme planeta veće od 1 godine (siderične, v. II. 2), t. j., ako T izrazimo godinama, $T > 1$. Sunce pređe iza jedne konjunkcije sa planetom u 1 godini od zapada na istok punih 360^0, a planet samo $360^0/T$, te Sunce preteče planet u 1 godini za $(360^0 - 360^0/T)$. Nakon sinodičnog ophodnog vremena S (izraženog također u godinama) Sunce u ponovnoj konjunkciji opet stigne planet sa zapada, te je tada prešlo jedan cijeli krug, t. j. 360^0 više nego planet. Kako je put Sunca u 1 godini veći od puta planeta za $(360^0 - 360^0/T)$, to je put sunca u S godina veći za $S\ (360^0 - 360^0/T)$, a to iznosi upravo 360^0, pa imamo

$$S\,(360^0 - \frac{360^0}{T}) = 360^0$$

ili nakon skraćenja sa 360^0

$$S - \frac{S}{T} = 1.$$

Odatle izlazi za siderično ophodno vrijeme

$$T = \frac{S}{S-1}.$$

a za sinodično ophodno vrijeme

$$S = \frac{T}{T-1}.$$

Ako je siderično ophodno vrijeme planeta T manje od 1 godine, $T < 1$, onda planet preteče Sunce, u gornjoj se jednadžbi promijeni predznak izraza u zagradi, pa imamo

$$S\,(\frac{360^0}{T} - 360^0) = 360^0$$

$$\frac{S}{T} - S = 1$$

$$T = \frac{S}{S+1}\ ;\ S = \frac{T}{1-T}.$$

Primjeri: 1. *Mars;* sinodično ophodno vrijeme S = 2,135 god. Siderično ophodno vrijeme

$$T = \frac{S}{S-1} = \frac{2,135}{2,135-1} = \frac{2,135}{1,135} = 1,881 \text{ god.} = 1 \text{ god. } 322 \text{ dana.}$$

2. *Venera;* T = 225 dana = 0,615 godine;
Sinodično ophodno vrijeme

$$S = \frac{T}{1-T} = \frac{0,615}{1-0,615} = \frac{615}{385} = 1,597 \text{ god.} = 1 \text{ god. } 208 \text{ dana.}$$

Planeti se u jednim dijelovima svojih putanja gibaju od zapada prema istoku, t. j. u smjeru prividnog godišnjeg gibanja Sunca (*direktno* gibanje), a u drugim od istoka prema zapadu (*retrogradno* gibanje). Kad planet iz direktnog gibanja prelazi u retrogradno ili iz retrogradnog u direktno, onda za kratko vrijeme prividno zastane (*zastoji* ili *stacije* planeta).

Prema načinu prividnog gibanja treba da razlikujemo *donje planete,* Merkur i Veneru, od ostalih planeta, *gornjih.*

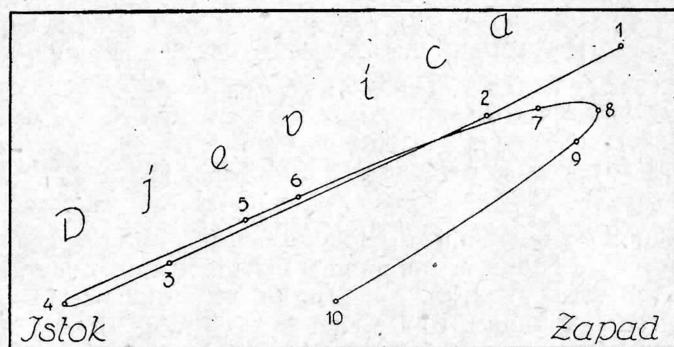
Donji planet, na pr. Venera, ne udaljuje se mnogo od Sunca. Venera se od jedne svoje konjunkcije (donje) udaljuje najprije od Sunca na zapad i dostigne *najveću zapadnu elongaciju* od Sunca u iznosu od 46^0. Onda se opet približava Suncu, prođe opet kroz konjunkciju (gornju) i udaljuje se od Sunca na istok

do *najveće istočne elongacije* od 46^0, zatim se opet približava do donje konjunkcije. Venera se dakle u neku ruku *njiše oko Sunca*. Kad je Venera zapadno od Sunca, onda nam je zvijezda *Danica*, jer se na jutarnjem nebu pojavljuje prije izlaza Sunca, a kad je istočno od Sunca, onda zalazi poslije Sunca, pa se pojavljuje na večernjem nebu na zapadu kao *zvijezda Večernjača*.

Slično Veneri giba se i Merkur, samo on ne dostigne tolike elongacije od Sunca kao Venera (najviše 28^0). Stoga se Merkur gubi u blizini Sunca u sjaju Sunca, pa ga je teško vidjeti.

Gornji planeti imaju putanje, koje ih vode u direktnom pravcu oko cijelog zodijakalnog pojasa, pa dostignu sve moguće udaljenosti od Sunca. Na putu oko cijelog zodijaka direktno gibanje gornjih planeta često se uspori, planet u staciji zastane, gibanje se promijeni u retrogradno i planet, pošto je neko vrijeme išao nazad, opet stane i pođe naprijed. Ovo vijuganje zna biti i u takovu obliku, da putanja sebe sama presiječe, te nastane petlja.

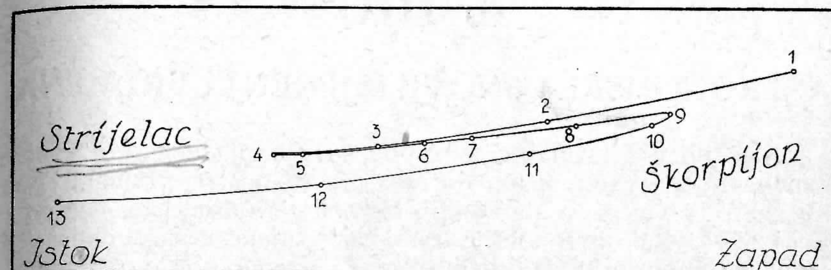
Donji planeti ne dolaze u opoziciju sa Suncem, gornji dolaze.



Sl. 46

Na slici 46 prikazano je prividno gibanje Marsa u zviježđu Djevice od 21. decembra 1934. (točka 1) do 1. jula 1935. (točka 10). Od 21. XII. do 1. III. planet se giba direktno preko točaka 2 (1. I.) i 3 (I. II.); u točki 4 (1. III.) ima staciju i sada se preko točaka 5 (1. IV.), 6 (6. IV.), 7 (1. V.) giba retrogradno do stacije u točki 8 (21. V.); od točke 8 preko točke 9 (1. VI.) do točke 10 giba se opet direktno; na retrogradnom putu 4-5-6-7 presjekao je direktni put 1-2-3-4 i tako načinio petlju. U točki 6 (6. IV.) Mars je bio u opoziciji sa Suncem.

Na slici 47 prikazano je prividno gibanje Jupitera u godini 1936. od 1. januara do 1. decembra položajima u početku svakog mjeseca. Gibanje, koje vodi planet po zviježđima Škorpijona i Strijelca, je direktno od točke 1 do 4, retrogradno od 4 do 9 i opet direktno od 9 do 13. Stacije planeta su u položajima 4 (10. IV.) i 9 (11. VIII.), a 10. VI. planet je u opoziciji sa Suncem (točka 7).



Sl. 47

Vrijeme, dok planet prođe kroz sva zviježđa zodijaka (siderično ophodno vrijeme), različito je za pojedine planete. Za Jupitera na pr. ono iznosi otprilike 12 godina, tako da je Jupiter svake godine u drugom zviježđu zodijaka, pa dođe svake godine i u opoziciju i u konjunkciju sa Suncem.

Zamršeno prividno gibanje planeta rastumačeno je heliocentričnom naukom u III. dijelu.

II. DIO

ASTRONOMSKE OSNOVE MJERENJA VREMENA

Već od prastarih vremena bila su gibanja nebeskih tijela osnova mjerenju vremena. Potreba, da se odsjeci vremena, po kojima se ravna život na Zemlji, što točnije odrede, dala je poticaj za razvitak astronomije u najstarije njeno doba. I danas je jedna od najvažnijih praktičnih zadaća astronomije određivanje vremena.

Na gibanju nebeskih tijela osnivaju se tri glavne mjere vremena: *dan, godina, mjesec.*

1. DAN

Dan se osniva na najupadnijem nebeskom gibanju, na prividnoj dnevnoj vrtnji neba; u jednom danu nebeska tijela izvrše jedan potpuni okretaj oko polarne osi. Duljina dana je *vrijeme, koje prođe od jedne gornje kulminacije do slijedeće gornje kulminacije istog nebeskog tijela.*

Tako određena duljina dana međutim izlazi različita prema tome, da li duljinu određujemo po *kulminacijama zvijezda stajačica* ili po *kulminacijama Sunca;* u prvom slučaju dobijemo *zvjezdani dan,* u drugom *Sunčev dan.*

ZVJEZDANI DAN I ZVJEZDANO VRIJEME. Vrijeme između dviju uzastopnih gornjih kulminacija iste zvijezde stajačice zove se *zvjezdani (siderični) dan.* To je ujedno vrijeme, u kojemu se nebeski svod okrene za 360^0 oko polarne osi ili *vrijeme,* u *kojem se Zemlja okrene za 360^0 oko svoje rotacijske osi.* Zvjezdani se dan dijeli kao i građanski dan na 24 sata, sat na 60 minuta, minuta na 60 sekunda.

Radi gibanja Zemljine rotacijske osi (gl. III. 8.) i obzirom na to, što se rektascenzije računaju od proljetne točke, broji

se kao *početak zvjezdanog dana* čas *gornje kulminacije proljetne točke,* a pod z v j e z d a n i m v r e m e n o m T u jednom času razumijemo vrijeme, izraženo u dijelovima zvjezdanog dana, koje je prošlo od gornje kulminacije proljetne točke. Vrijeme proteklo od gornje kulminacije jednog nebeskog tijela dato je njegovim satnim kutom, izraženim u vremenskoj mjeri (gl. I. 5). *Zvjezdano vrijeme T jednako je dakle satnom kutu proljetne točke.*

Bilo koja zvijezda stajačica doći će u gornju kulminaciju toliko kasnije nego proljetna točka, koliko je njen položaj dalje na istok od proljetne točke, što joj je dakle veća rektascenzija. Stoga je *zvjezdano vrijeme gornje kulminacije jedne zvijezde stajačice jednako njezinoj rektascenziji, izraženoj u vremenskoj mjeri.*

Ako jedna zvijezda u času motrenja nije u meridijanu, nego je prije ili poslije kulminacije, te ima satni kut t, onda je satni kut proljetne točke upravo za rektascenziju α dotične zvijezde veći od t, jer idući na zapad treba nam od meridijana do zvijezde satni kut t, a onda do proljetne točke još α (Sl. 16). Stoga je zvjezdano vrijeme T u času motrenja položaja te zvijezde jednako zbroju satnoga kuta i rektascenzije te zvijezde,

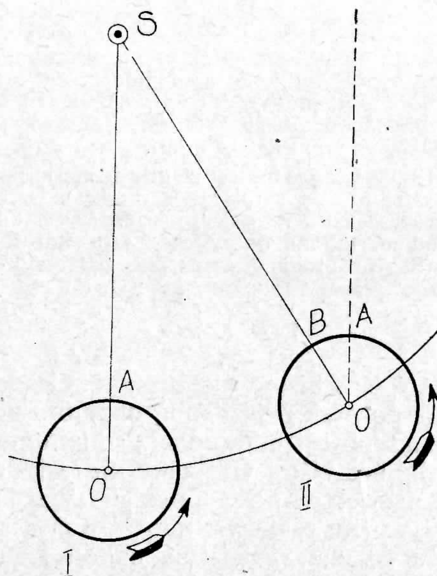
$$T = t + \alpha.$$

SUNČEV DAN. Kad bismo računali po zvjezdanom vremenu, onda bi 21. marta početak zvjezdanog dana bio upravo u podne, jer tada Sunce kulminira istodobno sa proljetnom točkom. Kako od 21. marta dalje sve više i više zakašnjava kulminacija Sunca iza kulminacije proljetne točke, početak zvjezdanog dana dolazio bi sve ranije prije podneva, pao bi u čas izlaza Sunca, pa u ponoć, onda u čas zalaza i istom nakon jedne godine opet u podne. Kako mi svoj život, rad i san ravnamo po Suncu, a ne po zvijezdama, jasno je, da zvjezdani dan, iako je on zbog velike jednolikosti rotacije Zemlje vanredno točna mjera vremena, ipak nije podesan kao osnova za mjerenje vremena u običnom životu. Stoga je odabran za mjeru *Sunčev dan.*

Vrijeme između dviju uzastopnih gornjih kulminacija Sunca zove se p r a v i S u n č e v d a n. Gornja kulminacija Sunca je u *pravo podne,* donja kulminacija Sunca u *pravoj ponoći.* Stoga možemo reći, da je pravi Sunčev dan vrijeme između pravog podneva dvaju uzastopnih dana (ili i vrijeme između dviju pravih ponoći).

Kako Sunce svaki dan kulminira kasnije od onih stajačica, koje su istodobno kulminirale dan prije, to je *pravi Sunčev dan dulji od zvjezdanog dana.*

U vremenu od godine dana je broj potpunih okretaja Zemlje, t. j. broj zvjezdanih dana ravno za jedan veći nego broj pravih Sunčevih dana. Sunce napreduje svaki dan otprilike 1^0 na istok, od kulminacije do kulminacije Sunca moralo se dakle nebo okrenuti za 360^0 + otprilike 1^0, tako da u jednoj godini svi ovi višci preko 360^0 daju jedan potpuni okretaj Zemlje.



Sl. 48

I pomoću revolucije Zemlje lako ćemo sebi razjasniti, da je Sunčev dan dulji od zvjezdanog i da ima zvjezdanih dana u godini za 1 više nego Sunčevih. Zvjezdani dan je prošao, kad je polumjer Zemlje *OA* (Sl. 48) izvršio okret od punih 360^0, t. j. došao u položaj paralelan prvobitnom. Zemlja neka je u jednom zvjezdanom danu revolucijom došla iz položaja *I* u položaj *II*. U položaju *I* ima mjesto *A* na Zemlji podne, jer mu je Sunce u meridijanu *(OAS)*. Pošto se polumjer *OA* okrenuo za 360^0, u položaju *II* mjestu *A* Sunce još ne kulminira, nego je potrebno još okretanje za kut *BOA* u smislu rotacije Zemlje, dok *A* dođe u položaj *B*, te ima podne. Sunčev je dan dakle dulji od zvjezdanog za ono vrijeme, u kojem se Zemlja okrene za kut *BOA*. Taj je kut međutim jednak kutu BSA, koji je spojnica Sunca i Zemlje *SO* prešla u jednom danu. Kad *SO* pređe nakon jedne godine 360^0, onda se i kutova *BOA* sabralo do 360^0, a to će reći, da je prošao jedan zvjezdani dan više nego što je bilo Sunčevih dana.

Kad bi rektascenzija Sunca rasla kroz godinu jednoliko, onda bi iznos, za koliko pravi Sunčev dan premašuje zvjezdani, svaki dan bio isti. Međutim rektascenzija Sunca ne raste jednoliko, kako znamo iz gl. I. 9. Zbog toga nijesu ni svi pravi Sunčevi dani među sobom jednaki, a dulji su oni, kad rektascenzija brže raste.

Nejednakost Sunčevih dana stvarala bi poteškoće pri mjerenju vremena, jer bi onda i sati bili na razne dane u godini nejednako dugi, pa bi i ure morale nejednako ići. Soga se *mjerenje vremena u običnom životu osniva na srednjem Sunčevu danu.* Mjesto stvarnoga Sunca, koje se nejednoliko giba po ekliptici, zamišljamo s r e d n j e S u n c e, koje godišnje gibanje od zapada prema istoku izvršuje *jednoliko po ekvatoru.* Takvom Suncu rektascenzija raste tokom godine jednoliko.

Pod s r e d n j i m S u n č e v i m d a n o m razumijemo *vrijeme između dviju uzastopnih gornjih kulminacija srednjega Sunca.* Svi su srednji Sunčevi dani dakako među sobom jednaki.

Srednji se Sunčev dan dijeli na 24 sata, sat na 60 minuta, minuta na 60 sekunda s r e d n j e g S u n č e v a v r e m e n a. G r a đ a n s k o v r i j e m e, po kojem stvarno računamo, je *srednje Sunčevo vrijeme, računato od ponoći do ponoći,* dakle od *donje kulminacije srednjeg Sunca.* Po građanskom je vremenu ponoć označena kao 0 sati, podne sa 12^h, a brojenje se sati produžuje preko 12^h do 24^h (iduće ponoći).

Razlika *srednje Sunčevo vrijeme minus pravo Sunčevo vrijeme* zove se *jednadžba vremena.*

Ova je razlika tokom godine koje pozitivna, koje negativna t. j. srednje podne dijelom ranije, dijelom kasnije nego pravo.

Gibanje srednjeg Sunca broji se tako, da su rektascenzije pravog i srednjeg Sunca jednake oko zimskog solsticija (24. decembra). Tim se postigne, da su najveća pozitivna i negativna vrijednost jednadžbe vremena približno jednake.

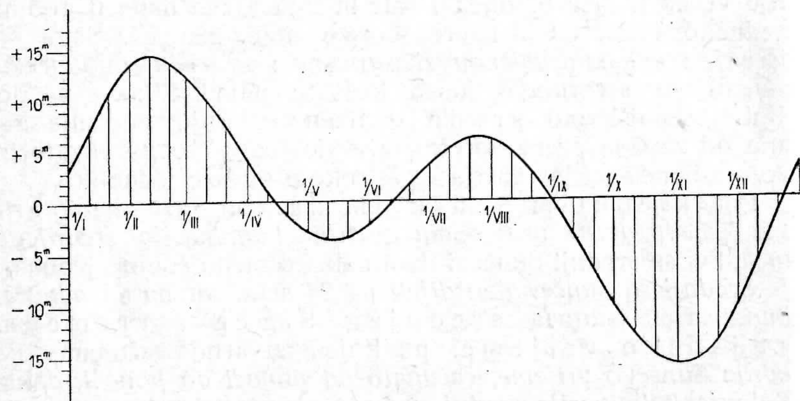
Kako se tokom godine mijenja jednadžba vremena, prikazuje grafički slika 49.

Jednadžba vremena upotrebljava se i sa protivnim predznakom, t. j. kao razlika *pravo Sunčevo vrijeme minus srednje Sunčevo vrijeme.* U tom su slučaju na sl. 49. vrijednosti ispod vodoravne osi pozitivne, iznad nje negativne.

Početak dana računao se u staro doba različito kod pojedinih naroda. Kod Babilonaca dan je počinjao sa izlaskom Sunca. Kod Židova i Grka dan je počinjao sa zalazom Sunca (kod Muslimana i Židova, ukoliko se ravnaju po vjerskom kalendaru, početak je dana i danas po zalazu Sunca). Brojenje početka dana od ponoći, kakvo je danas u javnom životu, potječe od starih Egipćana, a došlo je u Evropu preko Rimljana, koji su to uveli iz pravnih razloga.

Od godine 1925. broji se i u astronomiji, kao u građanskom vremenu, dan od ponoći, t. j. od donje kulminacije Sunca.

Dan se prvobitno dijelio na dan i noć, a svaki taj dio na 12 sati. Pri takvom brojenju promjenom duljine dana i noći mijenjala se i duljina sata (t. zv. horae inaequales). Takvo brojenje sata bilo je u Evropi u običaju do sredine 14. stoljeća. Kad se u 14. stoljeću razvio gradski život, počele su se konstruirati javne ure, pa je sve više prodirala razdioba dana na 24 jednaka sata (horae aequinoctiales), koja je bila poznata već astronomima starog vijeka.



Sl. 49

Do konca 18. stoljeća računalo se s pravim Sunčevim danom. U Ženevi su ure išle po srednjem vremenu od 1780., u Londonu od 1792. Astronomski kongres u Goti god. 1798. zaključio je opće uvođenje srednjeg Sunčeva vremena u znanosti i preporučio je uvođenje i u javnom životu. Od tada kroz 19. stoljeće primale su jedna za drugom sve države srednje Sunčevo vrijeme.

MJESNO I POJASNO (ZONALNO) VRIJEME. Podne i početak Sunčeva dana određeni su, kako je gore izloženo, prolazima srednjeg Sunca kroz mjesni meridijan. Sunce zbog rotacije Zemlje kulminira u jednom mjestu to kasnije, što je mjesto dalje na zapad. Prema tome ponoć i podne srednjeg dana ne padaju za razna mjesta na Zemlji u isti čas.

Ako se početak srednjeg Sunčeva dana računa za jedno mjesto po prolazu srednjeg Sunca kroz mjesni meridijan, onda se tako određeno vrijeme zove m j e s n o (l o k a l n o) s r e d n j e S u n č e v o v r i j e m e.

Ovo vrijeme zavisi o geografskoj dužini mjesta. Kad bi se općenito računalo sa mjesnim srednjim Sunčevim vremenom, onda bismo uz dan, sat, minutu i sekundu, kad se zbio na nekom mjestu jedan događaj, morali još znati i geografsku dužinu toga mjesta, da saznamo, u koje se vrijeme stvarno zbio događaj. Razlika u vremenskim podacima, koja bi prema različitoj geografskoj dužini mjesta nastala, velika je, jer iznosi za 1^0 dužine 4 minute, dakle za 15^0 dužine 1 sat. Tako bi u najistočnijim točkama naše države bilo gotovo 40 minuta iza podne, kad je u najzapadnijim upravo podne mjesnog srednjeg vremena. Kod današnjih saobraćajnih sredstava nastale bi za saobraćaj velike neprilike, kad bi se računalo po mjesnom vremenu.

Iz ovih se razloga uredilo računanje vremena po pojasima (zonama). Jedan v r e m e n s k i p o j a s ili v r e m e n s k a z o n a *zaprema* 15^0 dužine, t. j. područje Zemljine površine omeđeno sa dva meridijana, između kojih je razlika dužine 15^0. Sva mjesta u takvom pojasu računaju s istim vremenom, i to sa mjesnim građanskim vremenom onog meridijana, koji prolazi sredinom toga pojasa.

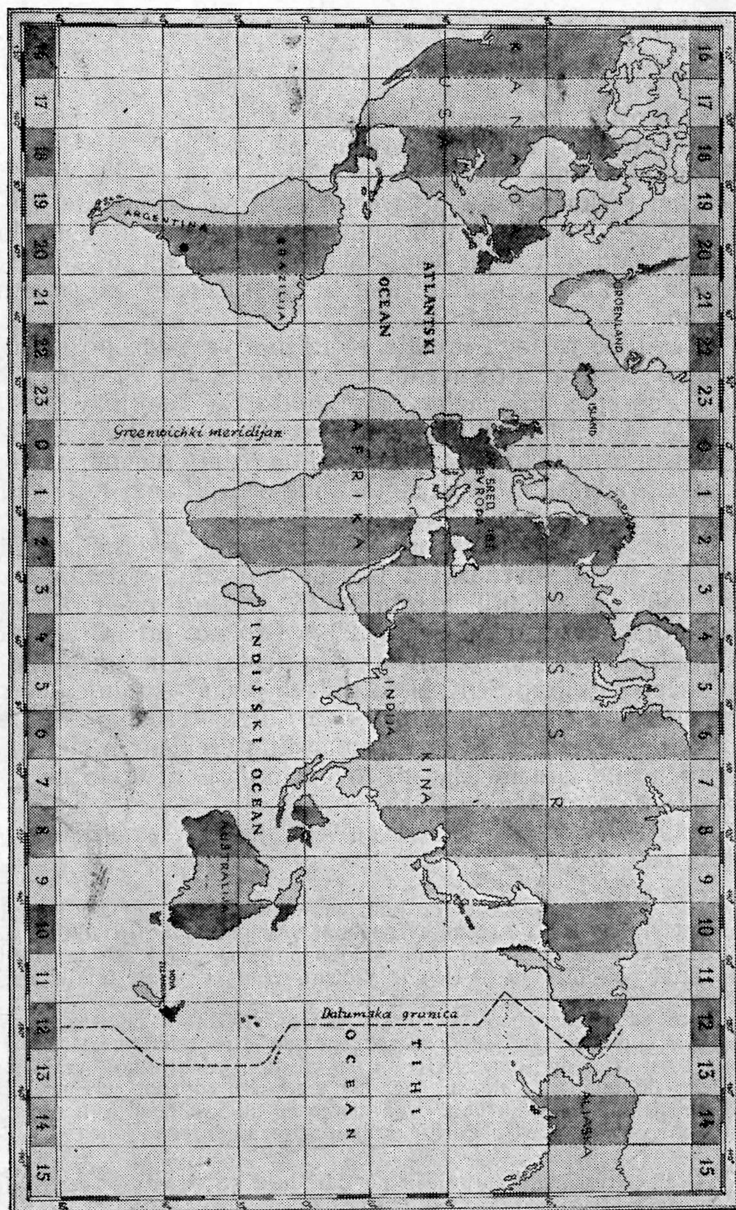
Tako se nalaze u Evropi tri vremenska pojasa, zapadno-evropski, srednje-evropski i istočno-evropski.[1] *Srednje-evropskom* pojasu je srednji meridijan 15^0 istočno od Greenwicha i taj pojas seže od $7\frac{1}{2}^0$ do $22\frac{1}{2}^0$ istočno od Greenwicha. Meridijan 15^0 istočno od Greenwicha prolazi u našoj državi gotovo točno mjestom Senj. Naša država pada u srednje-evropski vremenski pojas, pa se u *cijeloj našoj državi računa sa srednje-evropskim vremenom,* t. j. sa građanskim vremenom meridijana 15^0 istočno od Greenwicha. Po ovom pojasnom vremenu ravna se sva javna saobraćajna služba.

Razlika u vremenu između dva susjedna vremenska pojasa iznosi točno 1 sat.

Tako je po zapadno-evropskom vremenu u Parizu 11^h, kad je u našoj državi 12^h, a po istočno-evropskom vremenu u Sofiji 13^h. U SSSR je pojasno vrijeme iz ekonomskih razloga povećano za 1 sat, te mjesta u SSSR, koja po položaju padaju u istočno-evropski pojas, imaju vrijeme za 2 sata veće od srednje-evropskog.

Kako za cijeli vremenski pojas vrijedi vrijeme njegovog srednjeg meridijana, od kojeg nijedno mjesto pojasa nije udaljeno više od $7\frac{1}{2}^0$ dužine, to u cijelom pojasu vrijeme ne odstupa od mjesnog vremena za više nego 30 minuta. Tako na pr. 12^h srednje-evropskog vremena pada u najistočnijim krajevima naše države oko 30 minuta poslije, u najzapadnijim oko 5 minuta prije gornje kulminacije srednjega Sunca. Da dobi-

[1] Granice vremenskih pojasa ne određuju se strogo po meridijanu, nego se prilagođuju i državnim granicama.



Sl. 50

jemo *mjesno* građansko vrijeme, moramo *srednje-evropskom* vremenu pribrojiti u Zagrebu oko 4 minute, u Beogradu oko 22 minute, a u Ljubljani odbiti 2 minute s obzirom na geografske dužine tih mjesta.

Cijela Zemlja razdijeljena je sa 24 »normalna meridijana« na 24 vremenska pojasa po 15⁰ dužine.

Slika 50 daje pregled vremenskih zona na cijeloj Zemlji. Zone su naizmjence svjetlije i tamnije, a svaka je gore i dolje označena brojem, koji kaže, koliko je u toj zoni sati, kad je u Greenwichu 0h (ponoć).

Tihim Oceanom, oko meridijana 180⁰ istočno ili zapadno od Greenwicha, prolazi *datumska granica.* U istom je času istočno od ove granice vrijeme za 12 sati kasnije nego u Greenwichu, zapadno za 12 sati ranije. Vrijeme se dakle s obje strane ove granice razlikuje za 24 sata, t. j. za 1 cijeli dan. Stoga treba kod prelaza preko ove granice promijeniti datum.

ASTRONOMSKO ODREĐIVANJE VREMENA. Vrijeme se određuje astronomski tako, da se motre zvijezde poznate rektascenzije i deklinacije u gornjoj kulminaciji i odredi što točnije čas, kad one prođu kroz mjesni meridijan. Za tu upotrebu su jednom većem broju zvijezda (osnovnim zvijezdama) dugim nizovima opažanja osobito točno utvrđene ekvatorske koordinate. Poznato nam je, da je rektascenzija jedne zvijezde stajačice jednaka zvjezdanom vremenu u času njezine gornje kulminacije. Motreći čas kulminacije dobijemo zvjezdano vrijeme u tom času, a ovo možemo preračunati u srednje Sunčevo vrijeme. Za motrenje gornje kulminacije zvijezda služi *pasažni instrument* (vidi I. 7).

2. GODINA

Vrijeme, u kojem Mjesec prolazi sve četiri glavne faze, vrijeme od mlađaka do mlađaka (1 lunacija), dalo je prvu osnovu za mjerenje odsjeka duljih od jednog dana, za *duljinu mjeseca*[1]. Godina je prvobitno također bila *Mjesečeva godina,* ona se sastojala od izvjesnoga broja lunacija. Ali je još starom vijeku pošlo za rukom odrediti iz motrenja duljinu godine i po gibanju Sunca.

Sunčeva godina je vrijeme, u kojemu se Sunce prošavši cijelu ekliptiku povrati opet u isti položaj. Uzimajući stvarno revoluciono gibanje Zemlje mjesto prividnog Sunčeva možemo također reći: S u n č e v a g o d i n a *je vrijeme jednog potpunog ophoda Zemlje oko Sunca.*

U duljini Sunčeve godine izlazi međutim neka razlika prema tome, da li tu duljinu odredimo prema zvijezdama stajačicama ili prema proljetnoj točki ekliptike. Sunčeva godina odre-

[1] Kad »Mjesec« pišemo velikim početnim slovom, onda označuje nebesko tijelo, a sa malim početnim slovom »mjesec« označuje odsjek vremena.

đena prema zvijezdama stajačicama zove se *zvjezdana* ili *siderična godina,* a određena prema proljetnoj točki zove se *tropska godina.*

Zvjezdana godina je vrijeme, koje prođe, dok Sunce ponovno kulminira istodobno sa istom zvijezdom stajačicom.

Tropska godina je vrijeme, u kojem se Sunce pošavši od proljetne točke i obišavši cijelu ekliptiku opet vrati u proljetnu točku.

Zbog precesije ekvinokcija (vidi I. 10) proljetna se točka giba po ekliptici suprotno smjeru godišnjeg gibanja Sunca. Kad se Sunce, obišavši oko ekliptike, vrati proljetnoj točki, proljetna se točka pomakla Suncu u susret i Sunce će biti opet u proljetnoj točki prije, nego što je stvarno prešlo potpunih 360^0 ekliptike.

Stoga je *tropska godina kraća od zvjezdane godine.*

Naš se kalendar osniva na *tropskoj godini.*

Duljina tropske godine iznosi 365 dana 5^h 48^m 46^s ili *365,2422 Sunčevih dana*[1].

Kako (vidi II. 1.) Zemlja u jednom ophodu oko Sunca izvrši okretaja za 1 više nego što ima Sunčevih dana, te je broj zvjezdanih dana u godini za 1 veći nego broj Sunčevih dana, to je duljina tropske godine *366,2422 zvjezdanih dana.*

Kako se u 1 godini promijeni rektascenzija Sunca (i pravog i srednjeg) za 24^h, dnevni je prirast rektascenzije srednjeg Sunca jednak 24^h : 365,2422 = 3^m 56,56^s. Za toliko je srednji Sunčev dan dulji od zvjezdanog dana, t. j. *24^h srednjeg Sunčeva vremena = 24^h 3^m 56,56^s zvjezdanog vremena,* prema tome *1^h 0^m 0^s srednjeg Sunčeva vremena = 1^h 0^m 9,86^s zvjezdanog vremena.*

Pod građanskom godinom razumije se duljina godine izražena samo *cijelim brojem dana.* Naša građanska godina iznosi redovno 365 dana, a ako je prestupna, 366 dana.

Duljina Sunčeve godine bila je već starim Egipćanima prilično dobro poznata, računali su je sa 365¼ dana. Ova je duljina godine bila i osnova pri reformi kalendara, izvršenoj od Julija Cezara. Međutim u starom su vijeku bile poznate i točnije vrijednosti tropske godine. Grčki astronom Hiparh odredio je računski duljinu tropske godine sa $365 + (\frac{1}{4} - \frac{1}{300}) =$ $= 365,2467$ dana, što je vrlo blizu danas prihvaćenoj vrijednosti. Duljina sinodičnog mjeseca od 29,53 dana bila je također već Hiparhu poznata.

Mjesec se razvio na osnovi sinodičnog ophodnog vremena Mjeseca, a početak mu se brojio od prve vidljivosti srpa mladog Mjeseca (od takvog računanja ima i danas tragova).

---

[1] Srednji Sunčev dan po definiciji baš je toliki, da je broj srednjih Sunčevih dana u godini jednak i broju pravih Sunčevih dana.

Latinska imena mjeseca, koja su i kod nas kao kod većine evropskih naroda u upotrebi, imaju različito porijeklo. Januar je bio posvećen rimskom bogu Janu, februar Plutonu (koji se zvao i Februus), mart bogu Marsu, april Apolonu s nadimkom Aperta, maj Jupiteru s nadimkom Maius, juni Junoni, juli nazvan je u čast Juliju Cezaru, august u čast caru Augustu, ostali mjeseci nazvani su po rednom broju, koji su imali u kalendaru Nume Pompilija, u kojem je prvi mjesec bio mart.

Narodna slavenska imena mjeseca, koja se uz latinska kod nas upotrebljavaju, označuju mjesece po prirodnim pojavama, plodovima i ratarskim radovima dotičnog godišnjeg doba.

Dani tjedna u našem jeziku imaju narodna imena, kojih je značenje kod većine samo po sebi jasno. Samo subota potječe od staro-hebrejskoga sabata. 7-dnevni tjedan prešao je u kršćanske kalendare iz starožidovskoga. Rimski kalendar i poslije reforme po Juliju Cezaru nije imao takvog tjedna, premda je 7-dnevni tjedan bio u upotrebi i u starom Egiptu, a julijanska je reforma provedena baš pod utjecajem egipatske znanosti. U Egiptu se razvio i *planetski tjedan,* t. j. nazivanje dana tjedna po 7 tada poznatih »planeta«, u koje se ubrajalo i Sunce i Mjesec. Planetska imena dana tjedna nastala su tako, da je svakom danu tjedna po astrološkoj nauci pripadao jedan planet regent. Prvom satu prvog dana u tjednu pripadao je kao regent planet Saturn. Ako su se izredali planeti po ostalim satima, zavladalo je prvim satom drugog dana Sunce, trećeg Mjesec, četvrtog Mars, petog Merkur, šestog Jupiter, sedmog Venera. Ostaci planetskih imena nalaze se u današnjim romanskim jezicima (na pr. utorak tal. martedi, franc. mardi). U germanskim jezicima zamijenjena su imena rimskih bogova, po kojima su prozvani planeti, germanskim bogovima; tako na pr. mjesto gromovniku Jupiteru pripada četvrtak (tal. giovedi, franc. jeudi) gromovniku Donaru (Donnerstag). Subota se u engleskom jeziku zove po Saturnu (Saturday).

3. KALENDAR

JULIJANSKI KALENDAR. Kalendar, kojim se danas služe evropske države u javnom životu, razvio se iz rimskoga kalendara. Rimski kalendar za vrijeme republike, a prije reforme Julija Cezara, osnivao se na Mjesečevoj godini.

Da bi kalendar održali u skladu sa Sunčevom godinom i godišnjim dobama, uvrštavali su Rimljani svake druge godine jedan *prestupni mjesec* (Marcedonius), koji je naizmjence imao 22 ili 23 dana. Na ovaj način je računski bilo duljini Sunčeve godine dosta dobro udovoljeno. Međutim rimski je kalendar vremenom došao u veliki nered zbog lošeg postupka pri uvrštavanju prestupnog mjeseca. Prestupni mjesec marcedonij dodavao bi se poslije februara (kao zadnjeg mjeseca), te bi se februar u prestupnoj godini završio svetkovinom terminalija 23. februara. Svetkovinu i uvrštavanje prestupnog mjeseca naređivao je vrhovni svećenik (pontifex maximus) neuredno i samovoljno. Kalendarski nered što dalje, to je bivao veći, pa se Julije Cezar riješio god. 46. pr. n. e, kad se kao diktator iza egipatske vojne vratio u Rim (a pontifex maximus bio je već ranije), da provede reformu kalendara. Tu je reformu proveo Julije Cezar navodno uz pomoć egipatskog astronoma Sosigena.

Po Juliju Cezaru uvedeni kalendar zove se *julijanski kalendar.*

Za osnovu svoga kalendara uzeo je Cezar Sunčevu godinu računajući njenu duljinu 365¼ dana. Građanska godina julijanskog kalendara ima redovno 365 dana (obična godina), a svaka četvrta godina 366 dana (prestupna godina). Dodavanjem jednog dana u 4 godine ispravila se ona pogreška, koja nastaje zanemarivanjem ¼ dana svake godine. Početak godine u julijanskom kalendaru bio je 1. januara, kako je bilo ustanovljeno u jednoj reformi već oko 100 godina ranije. Taj početak godine bio je u skladu sa rimskim običajem, da toga dana novi konzuli nastupaju službu, a ostao je, kako znamo, do danas.

Prešavši od Mjesečeve godine na Sunčevu morao je Cezar i duljine mjeseca prilagoditi novoj duljini godine. To je izvršeno na taj način, što se onim rimskim mjesecima, koji nijesu imali 31 dan, dodalo kojemu 2, a kojemu 1 dan. (U starom rimskom kalendaru imala su 4 mjeseca po 31 dan, 7 po 29 dana, a februar 27 dana.) Isprva je februar dobio 29 dana (u prestupnoj godini 30), ali kad je kasnije mjesec, koji dolazi iza jula, dobio ime po caru Augustu, oduzet je februaru opet 1 dan i dodan augustu, da ne bi Augustov mjesec u duljini zaostao za Cezarovim. Tako su dobili mjeseci one brojeve dana, koje imaju i danas.

Iako je julijanski kalendar vrlo jednostavan i praktičan, za dalju budućnost nosio je u sebi pogrešku, što je osnovan na netočnoj duljini godine, jer tropska godina ima 365,2422 dana, a ne 365¼ = 365,2500 dana, kako je uzeto u julijanskom kalendaru. Prema tome se sa prestupnim danima svake 4 godine *dodaje previše,* i to svake godine 365,2500 — 365,2422 = 0,0078 dana, t. j. u 128,2 godine 1 dan. Ova pogreška duljine godine u julijanskom kalendaru, iako nije velika, vremenom se počela osjećati, jer je proljetni ekvinokcij padao na sve ranije dane u kalendaru. Koncil u Nikeji god. 325. ustanovio je radi računanja Uskrsa, da se proljetni ekvinokcij (početak proljeća) ima brojiti stalno na dan 21. marta. Ovako računani Uskrs padao je sve kasnije poslije stvarnog početka proljeća. Već od 13. stoljeća redala su se nastojanja i prijedlozi za reformu kalendara. Konačno se riješio papa G r g u r XIII. god. 1582. da provede ovu reformu. Po njemu uvedeni kalendar zove se *gregorijanski kalendar.*

GREGORIJANSKI KALENDAR. U gregorijanskom kalendaru svaka je četvrta godina (t. j. godina, koje je broj djeljiv sa 4) prestupna s tim izuzetkom, da godine, kojih je broj djeljiv sa 100 (sekularne godine), a nije djeljiv sa 400, nijesu prestupne

(premda su djeljive sa 4). Tako na pr. godine 1700., 1800., 1900. nijesu prestupne u gregorijanskom kalendaru, a u julijanskom jesu, dok je godina 2000. prestupna u oba kalendara. Na ovaj je način u gregorijanskom kalendaru u 400 godina za 3 dana manje nego u julijanskom, pa je tako prilično točno poveden račun o duljini tropske godine. Godina je u julijanskom kalendaru za 0,0078 dana preduga, a to čini u 400 godina 0,0078 · · 400 = 3,12 dana, dakle okruglo 3 dana. Neispravljen ostaje i u gregorijanskom kalendaru još ostatak od 0,12 dana u 400 godina, ali to čini istom u otprilike 3330 godina 1 dan.

Godine 1582. proljetni je ekvinokcij bio stvarno već 11. marta, bio je dakle od godine nikejskoga koncila, kada je bio 21. marta, zaostao već za 10 dana. Da se kalendar ispravi za ovih 10 dana i proljetni ekvinokcij dođe opet na 21. marta, odredio je papa Grgur XIII., da u godini 1582. ima da slijedi poslije 4. oktobra odmah 15. oktobra.

Gregorijanski kalendar prihvaćen je isprva samo u katoličkim zemljama, dok je u ostale zemlje dosta sporo prodirao. Danas se on upotrebljava u javnom životu gotovo svih država, pa i naše. Julijanskim se kalendarom još služi srpsko-pravoslavna crkva. *Datumi po gregorijanskom kalendaru označuju se kao »d a t u m i n o v o g a s t i l a«, a po julijanskom kao »d a t u m i s t a r o g a s t i l a«.*

Između datuma novoga i staroga stila razlika je sada 13 dana; na pr. 27. augusta po novom stilu je isti dan kao 14. augusta po starom.

U prošlom stoljeću bila je ta razlika samo 12 dana, a narasla je poslije god. 1900. za 1, jer je ta godina bila prestupna u starom kalendaru, a u novom nije. Razlika od 13 dana ostaje i u 21. stoljeću, jer je god. 2000. prestupna u oba kalendara.

III. DIO

RAZVITAK NAUKE O SUNČEVU SUSTAVU

1. RAZVITAK ASTRONOMSKE SLIKE SVIJETA DO PTOLEMEJA

Najstarije razdoblje astronomije (vidi I. 1) nije činjenice složilo u znanstvenu sliku svijeta. Smjer astronomije bio je praktičan, te je motrenje neba služilo u jednu ruku kalendarstvu, u drugu ruku astrologiji, proricanju iz zvijezda. Astrologija, koje ostaci danas u obliku praznovjerja životare među evropskim narodima, vuče svoj korijen iz rada babilonskih zvjezdoznanaca, haldejskih žreca.

Astronomsko znanje Babilonaca i Egipćana preuzeli su *Grci.* Matematski genij i sposobnost apstraktnog mišljenja, koja se u tom darovitom narodu pri ropskom gospodarstvu mogla kod vladajuće klase naročito razviti, učinili su, da su kod njih u 8 stoljeća od Talesa do Ptolemeja položeni oni temelji astronomske nauke, na kojima ona i danas počiva. Grci su izgradili u matematski vrlo dotjeranom obliku *prvu znanstvenu sliku svijeta.*

U prvim počecima nalazimo kod Grka sliku svijeta, koja odgovara očigledu neukog čovjeka: Zemlja ravna ploča, oko nje struji duboki i veliki okean, iz kojega nebeska tijela pri izlazu izrone, u koji pri zalazu zarone. U sredini zemaljske ploče zamišljali su Heladu, a u njezinoj sredini Olimp, sjedište bogova.

Od 7. stoljeća pr. n. e. dalje grčki mislioci unose u sliku svijeta sve više znanstvenih elemenata. T a l e s nadopunja nebeski svod do potpune kugle, A n a k s i m a n d e r tu nebesku sferu odmiče u veću daljinu.

Prvi veliki preokret u astronomskom mišljenju stvara P i t a g o r a (6. stoljeće pr. n. e.). Pitagora naučava, da je Zemlja kugla, koja slobodno lebdi u prostoru. Jasna spoznaja kuglastog oblika Zemlje, izvedena iz astronomskih opažanja, brzo

vodi do zaključka, da se iz nebeskih opažanja može odrediti i veličina te kugle. Smjela se misao Pitagore prihvatila i problema cijeloga svemira: on daje ideju *kosmosa,* skladne cjeline svemira, i time prvi put u povijesti kulture ideju svemira, gdje *vladaju prirodni zakoni,* na koje se svode sva zapažena gibanja nebeskih tijela. Slika svemira, koju daje Pitagora, u većem je dijelu proizvod mašte. Na 8 sfera, koje se vrte oko zajedničke osi, nalaze se Sunce, Mjesec, 5 planeta i zvijezde stajačice. Zemlja miruje u središtu toga svijeta. Osma sfera, na kojoj se nalaze zvijezde stajačice, u dnevnom okretanju vuče sa sobom ostale sfere, od kojih svaka ima i svoju posebnu brzinu okretanja prema ophodnom vremenu nebeskoga tijela, koje se na njoj nalazi. Uza sve svoje nedostatke ova slika svijeta ipak znači prvi pokušaj tumačenja nebeskih gibanja, a time je za grčke mislioce i za daljnju izgradnju znanstvene astronomije postavljen od Pitagore osnovni problem.

U školi Pitagorejaca pokazale su se Pitagorine ideje kao plodne. Iz predodžbe kuglastog oblika Zemlje nikla je misao, da je Zemlja jedno nebesko tijelo. Od toga je daljnji važni korak odveo na misao, da Zemlja i ne mora da miruje u središtu svijeta, vrtnja sfere zvijezda stajačica počela se shvaćati kao prividna, dok se u stvari vrti Zemlja oko svoje osi. Konačno se iz takvih ideja razvio i potpuni *heliocentrični sistem* A r i s t a r h a, koji je u 3. stoljeću pr. n. e. naučavao, da se u središtu svijeta nalazi Sunce, Zemlja i planeti se gibaju oko Sunca, a Mjesec oko Zemlje, onako kako uči i novovjeka astronomija.

Aristarhova se heliocentrična nauka nije u krilu starogrčke kulture dalje razvila, grčki je astronomi nijesu prihvatili, grčki je matematičari nijesu izgradili, a grčka ju je fizika pobijala. Mi smo o Aristarhovoj heliocentričnoj nauci obaviješteni samo po kratkim napomenama u djelima drugih grčkih učenjaka, naročito historičara Plutarha i matematičara Arhimeda. Iz napomene Arhimeda, koji je bio Aristarhov savremenik, saznajemo, da je Aristarh i u tom išao pred svojim vremenom, što je svijet smatrao neizmjerno velikim.

Fizika Grka postavila je za nebeska gibanja dva glavna zahtjeva, koji vuku porijeklo iz Pitagorine nauke. Jedan je zahtjev, da Zemlja kao od najteže tvari građena miruje u središtu svijeta, drugi je zahtjev, da se nebesko tijelo može gibati samo jednoliko po kružnici. A r i s t o t e l je svojim autoritetom od tih fizikalnih tvrdnja načinio upravo aksiome, od kojih nema i ne smije biti odstupanja.

Grčki su astronomi usavršavanjem motrenja nebeskih gibanja sve više upoznavali odstupanja od jednolikog kruženja. Utvrdili su, da se Sunce na svom godišnjem putu među zvijezdama stajačicama ne giba jednoliko. Slična odstupanja od jednolikosti otkrita su i u gibanju Mjeseca, a planeti sa svojim zamršenim, petljastim putanjama među stajačicama, svojim zastojima i povremenim obratima u protivni smjer gibanja pogotovo su nauci postavili vrlo težak problem. Matematički rad astronoma u najslavnijem razdoblju starogrčke astronomije, koje dobrim dijelom ima svoje naučno žarište u Aleksandriji, uzeo je taj glavni pravac, da stvori *geometrijske modele ustrojstva svemira,* iz kojih će se gibanja nebeskih tijela moći izvesti, a da se ne povrijeđe osnovni zahtjevi starogrčke fizike. Grčki su astronomi nastojali, da dosjetljivošću pri izgrađivanju geometrijskih modela dovedu teoriju gibanja nebeskih tijela u *formalni sklad* sa činjenicama, a nijesu pitali, mogu li se gibanja u njihovim modelima obrazložiti onim zakonima mehanike, koji vladaju u zemaljskim gibanjima. Taj se postupak pokazao kao štetan za daljnji pravilni razvoj astronomije.

Po geometrijskoj metodi su Eudokso i njegov učenik Kalip (4. stoljeće pr. n. e.) zamišljali nebeska tijela razmještena na svega 33 sfere, dodijelivši pojedinim i više sfera, koje se vrte oko različitih osi različitom brzinom. Hiparh (2. stoljeće pr. n. e.), po svojim otkrićima i metodama motrenja, kojima i novovjeka astronomija priznaje trajnu vrijednost, najveći astronom staroga vijeka, dao je teoriju Sunca i Mjeseca na toj osnovi, da se ta tijela doduše gibaju jednoliko po krugovima, ali Zemlja ne stoji točno u središtu tih krugova. Ovaj eksentrični položaj Zemlje unutar putanja Sunca i Mjeseca sadržava zapravo klicu predodžbe eliptičnih putanja, koje je 1800 godina kasnije dokazao Kepler.

Potpunu *geocentričnu sliku svijeta,* koja sve tekovine grčke astronomije i matematike slaže u jednu logičnu cjelinu, dao je Klaudije Ptolemej (2. stoljeće) u svom glasovitom udžbeniku »Almagest«[1]. U tom je djelu uz tumačenje gibanja Sunca i Mjeseca na osnovi Hiparhova rada iznesena i geocentrična teorija gibanja planeta, koja je sačuvala stari zahtjev jednolikog gibanja po krugu.

[1] Riječ nastala iz arapskog naziva djela. Grčki je naslov bio megale sintaksis = veliki zbornik.

2. PTOLEMEJEV GEOCENTRIČNI SISTEM

Sistem, kojim Ptolemej u Almagestu tumači nebeska gibanja, iako u cjelini nije stvoren samim radom Ptolemeja, zove se *Ptolemejev sistem.*

Osnovne tvrdnje, na kojima počiva Ptolemejev sistem, su ove:

1. Zemlja ima oblik kugle.
2. Sva se nebeska tijela gibaju jednoliko po krugovima.
3. Zemlja stoji nepomično u središtu nebeske sfere.

Zbog ove posljednje osnovne tvrdnje, po kojoj je Zemlja središte svijeta, oko kojeg se vrti sva nebeska sfera sa svima nebeskim tijelima, Ptolemejev je sistem *geocentrični sistem.*

Oko Zemlje kao središta Ptolemejev je sistem nanizao onih 7 tijela (Sunce, Mjesec i pet planeta), koja su se u starom vijeku brojala kao planeti.

Zemlji najbliži je Mjesec, onda dolaze redom Merkur, Venera, Sunce, Mars, Jupiter, Saturn. Koji su planeti Zemlji bliži, a koji dalji od nje, zaključilo se ispravno po duljini sideričnog ophodnog vremena, jer, prirodno, tijelo na krugu većeg polumjera ima i veće ophodno vrijeme.

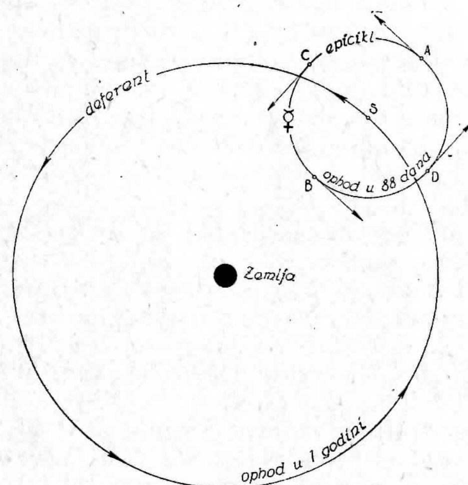
Dnevno gibanje nebeskih tijela tumači Ptolemejev sistem vrtnjom nebeske sfere oko Zemlje.

Prividno godišnje gibanje Sunca nije geocentričnom sistemu zadavalo nikakvih osobitih teškoća, jer se Sunce giba na ekliptici stalno od zapada prema istoku. U I. 9. prikazano je prividno godišnje gibanje Sunca sa geocentričnog gledišta stvarno kao gibanje po jednom krugu oko Zemlje. Što to gibanje nije jednoliko, kako su i stari astronomi znali, moglo se rastumačiti tim, da Zemlja stoji u krugu ekscentrično (po Hiparhu).

Gibanje Mjeseca pogotovo je bilo u skladu sa geocentričnim gledištem, budući da se Mjesec i po današnjoj nauci giba gotovo točno u krugu oko Zemlje.

Teškoće su dakle zadavala starim astronomima samo gibanja planeta sa svojim zastojima, retrogradacijama i petljama, jer se ovakva gibanja nijesu mogla svesti na jednostavno gibanje po krugu. Moguće je međutim gibanje planeta shvatiti kao neko njihanje (osciliranje). Spomenuto je u glavi I. 12, da nam se prividno gibanje donjih planeta prikazuje kao njihanje planeta oko Sunca. I vijuge gornjeg planeta mogu se shvatiti kao da se planet njiše oko točke, koja sama obilazi po krugu

u pojasu zodijaka od zapada prema istoku. Ptolemejev sistem poveo je računa o ovom njihanju, a da nije napustio osnovnog načela gibanja po krugu, na taj način, što je naučavao, da se planeti gibaju po *krugovima, kojih se središta sama gibaju po periferiji drugog, većeg kruga oko Zemlje.* Manji krug, po komu se giba sam planet, zove se *epicikl,* a veći krug oko Zemlje, na komu se giba središte epicikla, zove se *deferent.*



Sl. 51

Kružno gibanje i po epiciklu i po deferentu ima smjer godišnjeg gibanja Sunca. Slika 51 predstavlja deferent sa epiciklom, u središtu deferenta neka je Zemlja, strelice pokazuju smjer kružnog gibanja na oba kruga. Promatrajući sliku 51 lako ćemo uvidjeti, da će za motritelja na Zemlji planet biti sad istočno (na dijelu epicikla *A—C—B),* sad zapadno (na dijelu *B-D-A)* od središta epicikla *S.* O odnosu brzina gibanja na epiciklu i na deferentu zavisit će, hoće li nam se planet prividno gibati direktno ili retrogradno; ako na pr. u točki *B* zapadna brzina premašuje istočnu brzinu centra *S,* onda će se planet prividno gibati retrogradno.

Sl. 51 prikazuje deferent i epicikl za planet Merkur (☿). *Donji planet* po Ptolemejevoj teoriji obiđe epicikl u svom sideričnom ophodnom vremenu (za Merkur 88 dana), dok središte *S* epicikla obiđe deferent u 1 Sunčevoj godini.

Gornji planet po ovoj teoriji izvrši jedan ophod na svom epiciklu u 1 Sunčevoj godini, dok središte epicikla obiđe deferent u sideričnom ophodnom vremenu planeta.

Ptolemejev geocentrični sistem uspio je, da zgodnim izborom polumjera, ophodnih vremena i nagiba epicikla gibanja planeta matematski izvede tolikom točnošću, da su se računski rezultati dovoljno slagali sa tadanjim astronomskim opažanjima. Međutim je taj sistem kasnije, kad je morao udovoljavati sve točnijim opažanjima, dodavanjem daljih epicikla postao vrlo zamršen.

3. ASTRONOMIJA OD PTOLEMEJA DO KOPERNIKA

Almagest, koji sadržava sve grčko astronomsko znanje, postao je i ostao je kroz gotovo 1500 godina (do 16. stoljeća) glavnim izvorom astronomskog znanja i vodičem astronomskog rada i mišljenja. Geocentrični sistem, izložen u tom velikom djelu, *Ptolemejev sistem,* održao se kroz cijeli srednji vijek kao nepovredljiva osnova naziranja na svijet, premda je bilo mnogim jasno, da epicikle i druge geometrijske konstrukcije Almagesta ne treba shvatiti kao stvarnost, nego samo kao duhovite matematske fikcije. Kad su kasnije u srednjem vijeku i crkveni autoriteti prihvatili Ptolemejev sistem kao u skladu sa teološkim gledištima, postao je on zvaničnim shvaćanjem svijeta, pa se svako novo astronomsko saznanje moralo milom ili silom uklopiti u taj sistem. Tako je Ptolemejev sistem, koji je u vrijeme, kad je stvoren, značio napredak, vremenom postao neprirodan, neuvjerljiv i smetnjom za razvitak astronomije.

Sa propašću aleksandrijske kulture prestaje daljnji razvitak astronomije Grka, a novo razdoblje astronomije nastaje u području arapske kulture srednjega vijeka. Arapi su isprva živjeli nomadskim životom, pa je motrenje neba kod njih bilo prastari elemenat kulture. Kad su osvajačkim pohodima stvorili prostranu državu, došli su u dodir s narodima, u kojih je astronomska nauka već bila dostigla visoki stepen, i oni su tu nauku prigrlili. U njihovoj državi nastaju nova središta astronomskog rada, među njima najstarije već u 8. stoljeću u Bagdadu, osnovanom u blizini staroga Babilona, kasnije daljnja u Perziji, Egiptu i u južnoj Španiji. Arapsku astronomiju izgradili su samo dijelom učenjaci Arapi, uz njih velik broj Perzijanaca i Židova. Zasluga je ove astronomije već u tom, što je grčku nauku prihvatila i sačuvala u prijevodima glavna djela od zaborava, u koji su pala u metežu seobe naroda. Ali povrh toga

razvilo se kod Arapa motrenje neba i astronomsko mjerenje do najvećeg stepena, koji se mogao postići bez dalekozora i bez sredstava novovjeke fizike. Dižu se zvjezdarne u Bagdadu, Kairu, Samarkandu, u koje se ulažu ogromna sredstva, grade se instrumenti za mjerenje, često i divovskih razmjera, i u astronomskom radu učestvuje vrlo velik broj ljudi. U pogledu astronomske slike svijeta Arapi ostaju pri geocentričnom sistemu Ptolemeja, Almagest je i njima osnova svega astronomskoga mišljenja. Međutim arapska je astronomija, iako nije svijesno izgradila novu sliku svijeta, postala grobarom stare geocentrične slike svijeta, jer su njezini rezultati mjerenja učinili, da je nesklad između teorije Almagesta i stvarnosti nebeskih gibanja postao sve očitiji.

Već je u 13. stoljeću bilo teško znanstveno podržavati Ptolemejev geocentrični sistem, koji je tada već bio iznakažen krparijama i načet od kritike pojedinih arapskih istraživača. Taj se sistem pokazao što dalje, to više nesposoban, da teoretski objasni činjenice, a sve je više zatajivao pri praktičnoj primjeni astronomije u nautici. Radi njegove zamršenosti sve se više sumnjalo, da bi slika o svijetu, koju daje, mogla odgovarati istini. Ali društveni poredak i njim uvjetovana nauka pri kraju srednjega vijeka nije dopuštala, da se razvije slobodno mišljenje i istraživanje, pa je prošlo još 300 godina, dok je geocentrični sistem oboren.

Teologija bila je u srednjem vijeku potpuno porobila mišljenje. »Srednji vijek je teologiji pripojio sve ostale oblike ideologije — filozofiju, politiku, pravne nauke, pretvorivši ih u podvrste teologije. Time je on primorao svaki društveni i politički pokret, da primi teološki oblik« (F. Engels: Ludwig Feuerbach). Nauci je u tadanjem društvenom poretku bilo dozvoljeno jedino, da ono, što je u vjerskom sistemu objavljeno i dogmama utvrđeno, podržava i dokaže razlozima razuma. Sholastika, koja se kao metoda nauke razvila od 9. stoljeća, rješava ovu zadaću formalizmom zaključivanja iz apstraktnih pretpostavaka, koje se na stvarnost ne osvrću, logičkim cjepidlačarenjem i mutnim spekulacijama. Ptolemejev sistem svojim značajem geometrijskog modela svijeta, koji je samo formalno doveden u sklad sa činjenicama, odgovarao je sholastičkom nastojanju, da nauku dovede u formalni sklad sa dogmatičkim sistemom crkve. Sholastika je stoga podržavala Ptolemejev geocentrični sistem svijeta i Aristotelovu (peripatetičku) fiziku kao od teologije odobrene zvanične osnove nauke. Cijeli taj poredak, kojemu su

ekonomska osnova bili feudalni proizvodni odnosi — a crkva je i sama bila jedan od najmoćnijih feudalnih gospodara — štitila je i svjetovna i crkvena vlast sankcijama. Nauka, koja bi odstupala od zvanične, smatrala se krivovjerjem, pa se proganjala najoštrijim mjerama. Za pronalaženje i kažnjavanje krivovjeraca uveden je poseban sud, inkvizicija, zloglasna po okrutnim metodama istrage i kažnjavanja. Sa razvitkom gradova, zanata i početaka trgovačkog kapitala razvijaju se pod vodstvom građanstva nove proizvodne snage u suprotnosti sa postojećim feudalnim odnosima. Crkvi služi inkvizicija za borbu protiv tih novih društvenih snaga, da bi, braneći svoje ideološke pozicije, sačuvala svoju ekonomsku i političku vlast. U 13. stoljeću postala je inkvizicija ustanovom pri rimskoj stolici, a rukovodio je njom osobito dominikanski red.

Kao klasa, koja u daljnjem razvitku razbija feudalni sistem i ekonomski i ideološki, nastaje potkraj srednjega vijeka građanska klasa trgovačkih gradova, koji su postali bogati i moćni u trgovini sa bliskim istokom i s novootkrivenim zemljama. Ova je građanska klasa na putovanjima upoznala raznolikost prirode i ljudi, ona se umno izgrađuje klasičnom naobrazbom, koju u isto doba širi humanizam. Čitanje djela starogrčkih mislilaca otkriva svu bijedu sholastičke filozofije, a upoznaje se i pravi Aristotel umjesto sholastički iznakaženog. Umjetnost renesanse produbljuje osjećaj za život i prirodu, u toj se građanskoj klasi razvija i jaka individualistička crta, počinje se za pojedinca tražiti slobodni razvitak sposobnosti i sloboda mišljenja. Mislioci ove klase ne podvrgavaju se više autoritetu, koji će im propisati predmet i granice mišljenja, oni se obraćaju istraživanju prirode i traženju prirodnih uzroka svih pojava. Mislioci ove klase upotrebom narodnog jezika umjesto latinskog pokazuju, da se odvajaju od crkvenog sistema i sholastike i obraćaju svojim djelima zdravom razumu naroda.

F. Engels piše o tom razdoblju: »Okviri starog *orbis terrarum* (zemaljskog kruga) bili su probijeni. Zemlja je u stvari sada tek otkrivena i postavljeni su temelji za kasniju svjetsku trgovinu i za prijelaz od zanata k manufakturi, koja je opet činila polaznu točku za modernu krupnu industriju. Skršena je duhovna diktatura crkve . . . . Bio je to najveći progresivni prevrat, što ga je čovječanstvo do tada doživjelo, doba, koje je zahtijevalo divove i rađalo divove, divove po moći mišljenja, po strastvenosti i karakteru, po mnogostranosti i učenosti.« (Dijalektika prirode, uvod).

Pripravljen ovim razvojem društvenih prilika nastaje u astronomiji onaj veliki preokret, koji obara geocentrični sistem svijeta. Odbačena je predrasuda, da Zemlja mora imati povlašteni položaj u svijetu, da su nebeska tijela izuzeta od zakona mehanike, koji vrijede za sva tijela. Već u 15. stoljeću Lionardo da Vinci drži, da je Zemlja nebesko tijelo kao i planeti, a Nikola Cusanus naučava, da se i Zemlja giba, jer je gibanje svojstvo svih tijela. Oštroumnom analizom činjenica i teoretskim zaključivanjem slobodnim od okova starih predrasuda utvrđeno je u 16. i 17. stoljeću, da logičnu, jasnu i jednostavnu sliku nebeskih pojava i svijeta daje samo *heliocentrični sistem*, po kojemu oko Sunca kao centralnog tijela kruže Zemlja i planeti.

Prvi udar geocentričnom sistemu je slavno djelo Nikole Kopernika, kojim je dokazao, da heliocentrični sistem, vrtnja Zemlje oko njezine osi i njezino kruženje oko Sunca jednostavno objašnjavaju nebeska gibanja i razmještaj nebeskih tijela.

4. KOPERNIKOV HELIOCENTRIČNI SISTEM

Iako su već u starom vijeku pojedinci iznijeli mišljenje, da Sunce miruje, a Zemlja se giba, ipak je neosporivo Nikola Kopernik osnivač heliocentričnog sistema. Kopernik se nije zadovoljio, da ovu misao izreče, nego je svoj životni rad uložio, da u djelu »De revolutionibus orbium coelestium libri VI« (1543.), na kojem je radio 35 godina, heliocentrični sistem utvrdi i dokaže činjenicama i da ga izgradi do onog stupnja, do kojeg je to uopće bilo moguće u ono vrijeme. Tim je djelom Kopernik izvršio jedan od najvećih preokreta u znanosti.

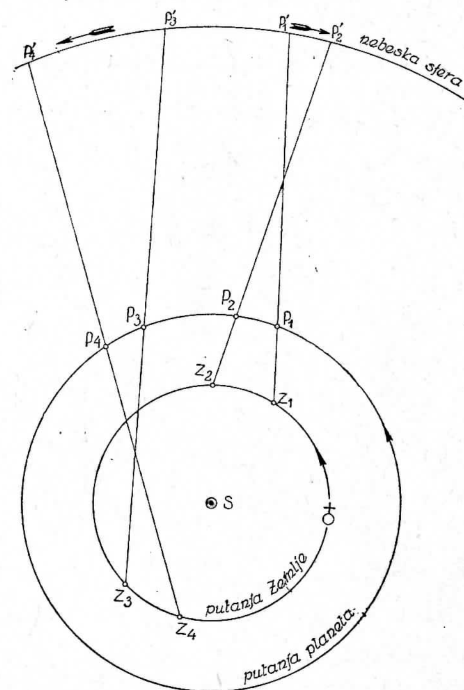
Kopernikov sistem počiva na dvjema osnovnim tvrdnjama:

1. Zemlja se vrti oko osi, koja ide nebeskim polovima, od zapada prema istoku, a vrijeme jednog okretaja je jedan dan (rotacija Zemlje).

2. Zemlja je jedan od planeta, te se kao i ostali planeti giba u krugu oko Sunca (revolucija Zemlje). Smisao je ovog kruženja Zemlje oko Sunca isti kao i kod vrtnje, a ophodno je vrijeme jedna godina.

Prvom je tvrdnjom Kopernik razjasnio prividno dnevno gibanje nebeske sfere i sve pojave, koje su s njim u vezi, kako je već izloženo u I. 8.

Drugom tvrdnjom razjasnio je prividno godišnje gibanje Sunca i gibanje planeta.



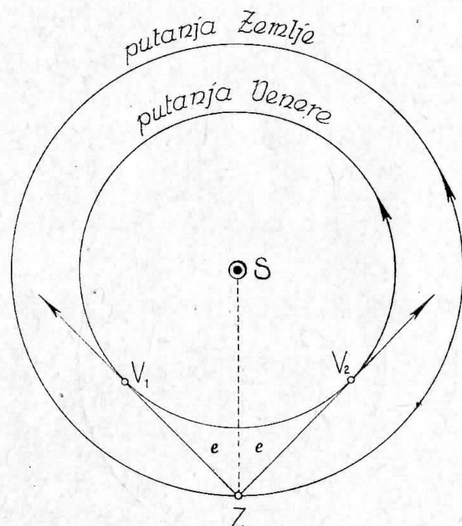
Sl. 52

Godišnje gibanje Sunca s heliocentričnog gledišta razjašnjeno je već u glavi I. 10.

Osobine prividnih planetskih putanja razjašnjuju se s heliocentričnog gledišta vrlo jednostavno, kad pomislimo, da mi gledamo gibanje planeta s jednog stajališta, koje se i samo giba. Zamislimo, da iz željezničkog vlaka gledamo automobil, koji se kreće na cesti uporedo sa kolosijekom istim smjerom. Ako se automobil kreće brže od vlaka, onda se on od nas udaljuje u smjeru vožnje; ako se kreće jednakom brzinom, onda za nas, koji ga gledamo iz prozora vagona, stoji stalno na istom mjestu; ako se automobil kreće sporije od vlaka, onda on zaostaje, te se udaljuje od nas u pravcu suprotnom smjeru vožnje. Ako

za vlak uzmemo Zemlju, a mjesto automobila planet, te mjesto i gibanje planeta odredimo po pravcu, u kojem ga vidimo, onda prvi slučaj odgovara direktnom gibanju planeta, drugi zastoju, treći retrogradaciji.

Neka je (Sl. 52) *S* Sunce, manji krug putanja Zemlje oko Sunca, veći putanja jednog (gornjeg) planeta, najveći krug nebo, na koje gledalac na Zemlji projicira zrakama doglednicama mjesta planeta. Ako je Zemlja na

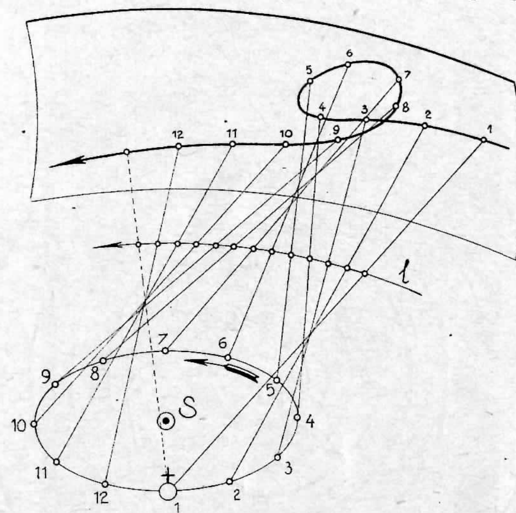


Sl. 53

svom godišnjem putu na istoj strani Sunca kao i planet ***P*** i pređe u nekom vremenu put od Z_1 do Z_2, onda će planet, koji se giba sporije, preći u istom vremenu manji put $P_1 P_2$ u istom smjeru. Na nebeskoj sferi gledalac na Zemlji, koji misli da miruje, vidi iz Z_1 planet u položaju P'_1, iz Z_2 u P'_2, za njega se dakle planet prividno gibao retrogradno. Ako je pak Zemlja na drugoj strani Sunca nego planet i Zemlja na pr. pređe u nekom vremenu put $Z_3 Z_4$, planet manji put $P_3 P_4$, onda se planet, koji je za gledaoca na Zemlji na nebeskoj sferi prešao put $P'_3 P'_4$, gibao prividno direktno.

Slika 53, gdje na manjem krugu treba da zamislimo donji planet, na pr. Veneru, na većem Zemlju, pokazuje, da gledalac na Zemlji *Z* ne može vidjeti donji planet *V* u većem kutnom razmaku od Sunca *S*, nego što je kut e. Položaji V_1 i V_2, što ih određuju tangente iz *Z* na putanju donjeg planeta, odgovaraju najvećim elongacijama *e* planeta na istok *(V_1)* i zapad *(V_2)*.

Slika 54 prikazuje odnos heliocentričnog i geocentričnog gibanja gornjeg planeta za vrijeme jednog ophoda **Zemlje oko Sunca. Planet** se giba u tom vremenu heliocentrično na luku *l* kruga oko Sunca *S*, na kojem je istaknuto dvanaest položaja planeta. Sa Zemlje ♁, koja se giba također na krugu oko Sunca, gledamo planet u onih dvanaest položaja iz dvanaest položaja 1 do 12 u razmacima od otprilike mjesec dana. Gledajući projiciramo planet na nebesku sferu i dobijemo prividne položaje planeta, koji nanizani daju dio prividne planetske putanje sa petljom.



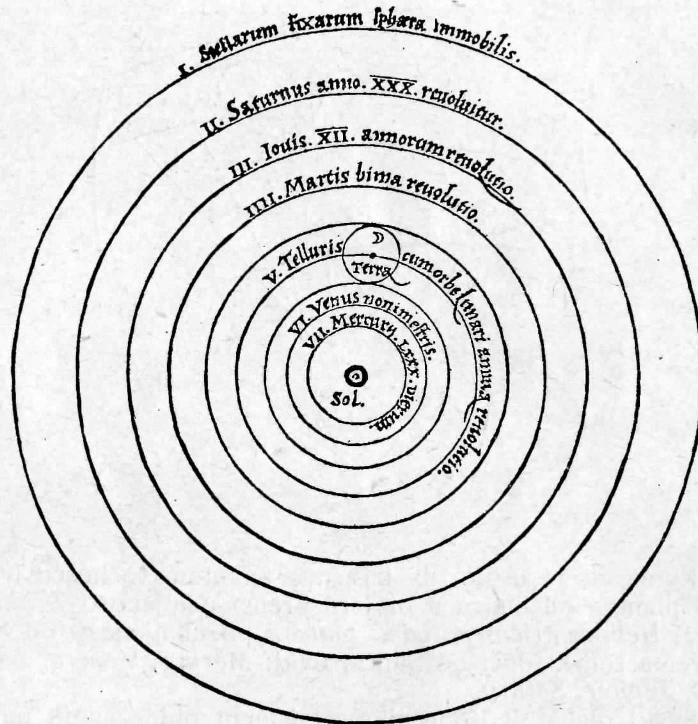
Sl. 54

Kopernik je uspio, da izračuna znatnom točnošću udaljenosti planeta od Sunca u omjeru prema udaljenosti Zemlje od Sunca. *Heliocentrični poredak planeta* po udaljenosti od Sunca je prema tome, idući od Sunca, ovaj: *Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn.*

Svaki planet u Kopernikovu sistemu obiđe svoju putanju u vremenu jednakom *sideričnom ophodnom vremenu.* Ovo je vrijeme to veće, što je planet dalji od Sunca i time putanja dulja.

Kopernik je iz Ptolemejeve nauke preuzeo staru pretpostavku, da su putanje nebeskih tijela uvijek *krugovi* i gibanje na njima *jednoliko* (sl. 55.). S ovom pretpostavkom bio je prisiljen, da preuzme i neka druga geometrijska pomagala Ptolemejeve nauke, pa je tim preokret u znanosti, za koji ide Kopernika zasluga, ostao u neku ruku nedovršen.

Da se nađu pravi oblici planetskih putanja, trebalo je dugogodišnjih točnih opažanja gibanja planeta, a takva je istom koncem 16. stoljeća izvršio astronom T i h o B r a h e. Prave oblike planetskih putanja i osnovne *zakone planetskog gibanja* našao je na osnovi Tihonovih opažanja njegov pomoćnik i nasljednik I v a n K e p l e r.



Sl. 55. Kopernikov heliocentrični sistem (iz Kopernikova djela).

Nikola K o p e r n i k (sl. 56) (1473.—1543.) učio je astronomiju, prava, teologiju i medicinu u Krakovu i u Italiji, bio je kasnije liječnik i savjetnik biskupa Wacelrodea i završio je život kao kanonik u Frauenburgu. Ideja heliocentričnog sistema bit će da je u njemu sazrela već god. 1506.; tiho i povučeno radio je na tom, da ga izgradi i dovede u sklad sa opažanjima. Svoju je teoriju saopćivao samo prijateljima i učenjacima u pismima. Ipak se raznio glas o njegovu novom sistemu, pa se napokon god. 1542., godinu prije smrti, dao sklonuti, da svoje djelo da u štampu. Navodno je na smrtnoj postelji još vidio prve štampane arke svog djela.

5. RAZVITAK HELIOCENTRIČNOG SISTEMA POSLIJE KOPERNIKA

Kopernik je bio na smrtnoj postelji, kad mu se djelo štampalo u Nürnbergu, i bez njegova znanja stavljeno je u predgovor, da se gibanje Zemlje ima shvatiti samo kao hipoteza,



Sl. 56. Nikola Kopernik

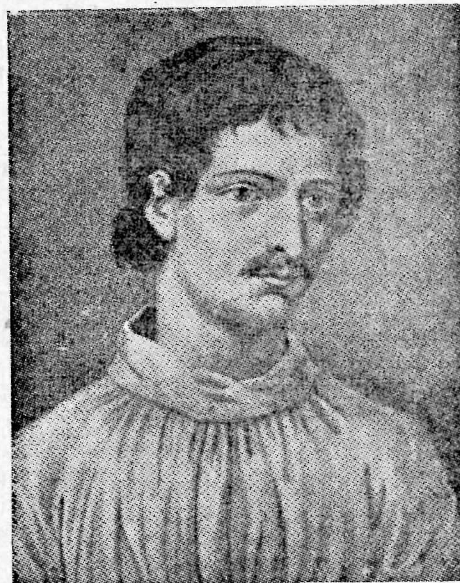
koja služi boljem proračunavanju gibanja nebeskih tijela. Uz Kopernikovu nauku pristala je isprva nekolicina učenih ljudi, kojima je njegovo učeno djelo bilo pristupačno, u široku javnost ona nije brzo došla. Tako u prvo vrijeme nijesu ni crkva ni pristaše geocentričnog sistema istupili protiv nove nauke. Štaviše, jedan od Kopernikovih pristaša izradio je na osnovi heliocentrične nauke nove astronomske tablice za proračunavanje gibanja nebeskih tijela (tabulae prutenicae), koje su prihvaćene od pape Grgura XIII. kao podloga pri reformi kalendara (vidi II. 3.).

*

Međutim potkraj 16. stoljeća postalo je bjelodano, da heliocentrični sistem nije samo jedno hipotetično geometrijsko pomagalo, nego da je jedno novo gledanje na svijet, koje dira u temelje teološkog gledanja, da heliocentrična nauka obara zvaničnu nauku o svijetu, koja je bila prihvatila Aristotelovu (peripatetičku) fiziku i Ptolemejev geocentrični sistem, i da je borbeni ideološki odraz slobodarskih težnja novih društvenih snaga. Da bi ovo novo gledanje na svijet, koje je zahtijevalo izvjesnu sposobnost apstraktnog mišljenja, prodrlo u narode, trebalo ga je živom i štampanom riječi širiti i nastavom prenositi u mlađa pokoljenja. Crkva je međutim stajala na braniku starog, geocentričnog sistema. Nije moglo biti dvojbeno, da će u borbi između reakcije i znanosti, koja je tada zapodjenuta oko heliocentričnog sistema, konačno pobijediti i prodrijeti gledište znanosti. Ali reakcija je mogla, sprečavajući širenje nove nauke, pobjedu znanosti odgoditi, pa je borba oko heliocentričnog sistema, sad u žešćim, sad u blažim oblicima trajala 200 godina. Crkvene vlasti svih vjeroispovijesti ustale su protiv heliocentrične nauke. Protestantska je crkva odbacila ovu nauku, jer je u očitom protuslovlju sa tekstom brojnih mjesta biblije. Sam Luther je heliocentričnu nauku osudio i Kopernika označio kao luđaka. I pravoslavni sinod donio je odluku, kojom se ova nauka osuđuje. U krilu katoličke crkve počela je inkvizicija oštrim mjerama sprečavati širenje heliocentrične nauke i proganjati njezine pristaše.

Kao žrtva progona inkvizicije poginuo je tada veliki mislilac i borac za slobodu mišljenja G i o r d a n o B r u n o. Bruno je bio oduševljen pristaša Kopernikove nauke, te ju je izgradio osobito u filozofskom smjeru. Njegove ideje upotpunjuju Kopernikovu sliku svijeta tim, što se ne zaustavljaju na »sferi zvijezda stajačica«, kojom je u Kopernikovu sistemu još okružen Sunčev sustav kao nekom ljuskom (sl. 55., Stellarum fixarum sphaera immobilis, nepokretna sfera zvijezda stajačica), nego otvaraju pogled u neizmjernost svemira. Bruno naučava, da se u neizmjerno velikom prostoru svemira giba bezbroj nebeskih tijela, od kojih se nijedno ne može smatrati središtem cijelog svijeta; zvijezde su sunca kao naše, sastoje se od iste materije kao Zemlja, a okružene su planetima, gdje ima živih bića, među kojima može biti i savršenijih od čovjeka. Svijet je kako prostorno neizmjerno velik, tako i vremenski neograničen i razvitak u njemu nikad ne prestaje. Brunova nauka o jedinstvu materije u svemiru obara naročito Aristotelovu nauku o

sastavu nebeskih tijela, po kojoj su zvijezde građene od finije nebeske materije (eter), Zemlja od teške materije. Time je Bruno prvi odlučno raskinuo sa starom razlikom između »nebeskog«, uzvišenijeg, i »zemaljskog«, prostijeg. Radi svoje panteističke filozofije, koja je jako utjecala na kasnije mislioce, radi neumitne kritike tadanjih prilika u crkvi i društvu, te radi svoje kosmološke nauke pao je pod inkviziciju, te je nakon sedam godina provedenih u tamnici u Mlecima i u Rimu osuđen za krivovjerje god. 1600. i u Rimu spaljen na lomači.



Sl. 57. Giordano Bruno

Giordano B r u n o (sl. 57) (1548.—1600.), isprva dominikanac, zamjerio se sumnjom u dogme i pobjegao 1576. iz samostana. Osumnjičen i progonjen mijenjao je često boravište, živio je u Švicarskoj, Francuskoj, Engleskoj, Njemačkoj i Češkoj. Patricij Mocenigo pozvao je g. 1592. Bruna u Mletke hoteći od njega učiti magiju, ali uskoro ga je prijavio inkviziciji. Glavno djelo Brunovo je dijalog »Della causa, principio ed uno« (»O uzroku, principu i jednom«) (1584.). Napisao je i satirična djela.

Međutim su astronomija i fizika 17. stoljeća izgrađivale heliocentričnu nauku u ravnoj liniji napretka, te izvele heliocentrični sistem do konačne pobjede. Geocentrični je sistem razvojem znanosti oboren za sve vjekove u četiri udara: Kopernikovo

djelo, *prvi* udar, dalo je heliocentričnoj nauci pouzdanu osnovu za dalji rad. *Drugi* je udar bilo istraživanje neba dalekozorom, koji je Galileo Galilei g. 1609. konstruirao i prvi uperio na nebo; njegovim su otkrićima na nebu oborene brojne predrasude i potvrđeni zaključci izvedeni iz Kopernikove heliocentrične nauke. Galilei je i kao osnivač novovjeke mehanike heliocentričnoj nauci pribavio fizikalne podrške. *Treći* je udar bio rad Ivana Keplera (god. 1609.), koji je dokazao, da putanje Zemlje i ostalih planeta nijesu krugovi nego elipse, da se isti planet u različitim udaljenostima od Sunca giba različitom brzinom, da Sunce prema tome djeluje fizičkom silom na planete. Time je utro put nebeskoj mehanici. *Četvrti* je udar bila teorija gibanja u Sunčevu sustavu, koju je dao Izak Newton (g. 1687.), dokazavši, da se gibanja planeta mogu matematski izvesti iz principa mehanike i djelovanja jedne univerzalne sile, *gravitacije,* koja kao privlačna sila djeluje između svih tijela, bila ona na Zemlji ili u svemiru.

6. GALILEO GALILEI

Galileo Galilei pridonio je svojim radom razvitku heliocentričnog sistema u tri pogleda.

1. U svojim istraživanjima o padanju tijela i o gibanju njihala udario je temelje mehanici, na kojima se ona kroz stoljeća uspješno izgrađivala. Osobito je zakonom inercije (ustrajnosti) i pojmom akceleracije (ubrzanja) dao one osnove, na kojima je Newton podigao mehaniku neba. Galilejev princip inercije učinio je razumljivim, da na površini Zemlje rotacija Zemlje tako malo utječe na gibanje, i tim je omogućio pobijanje važnog prigovora rotaciji Zemlje.

2. Galilei, kad je konstruirao dalekozor, uperio ga je na nebo i otkrio pojave na nebu, koje su bile važni dokazi i podrška za Kopernikov sistem.

Kopernik je naučavao, da su planeti tamna tijela kao i Zemlja, a svijetle samo, jer su obasjani od Sunca. Iz toga je Kopernik zaključio, da donji planeti, Merkur i Venera, moraju u toku svog ophoda oko Sunca pokazivati faze kao i Mjesec, jer, kako im se mijenja položaj prema Suncu i Zemlji, vide se od njih sad veći, sad manji dijelovi rasvijetljene im površine. Galilei je tu posljedicu Kopernikova sistema potvrdio otkrivši dalekozorom *faze Venere.*

Galilei je otkrio *4 mjeseca pratioca,* koji kruže oko planeta *Jupitera,* i tim je našao jedan sustav, koji je u manjem obliku bio slika Sunčeva sustava, kakav je zamišljao Kopernik.

Galilejev dalekozor je pokazao, da zvijezde stajačice moraju biti u daljinama od Zemlje, koje su neuporedivo veće nego daljine planeta, jer one gledane i dalekozorom ostaju svijetle točke. Tim je bio oslabljen prigovor Kopernikovu sistemu, da bi stajačice morale prividno mijenjati svoja mjesta, ako se Zemlja giba.

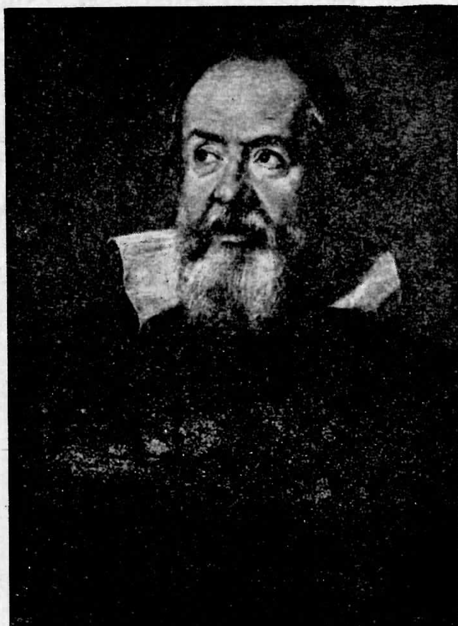
Potpuno je uklonjen taj prigovor istom onda, kad je otkrićem paralakse (vidi I. 10. i V. 3.) mala promjena prividnog mjesta zvijezda stajačica dokazala ujedno i gibanje Zemlje i goleme udaljenosti zvijezda stajačica.

3. Prigrlivši rano Kopernikovu nauku Galilei je stekao velike zasluge tim, što ju je širio, javno zagovarao i branio od napadaja. Njegova neustrašiva borba za Kopernikovu nauku bila je po njegov lični život kobna; ali baš njegovo stradanje ubrzalo je pobjedu Kopernikove nauke, jer se tako zainteresovala za ovu nauku javnost i Kopernikova je nauka prodrla u društvene slojeve, do kojih Kopernikovo strogo znanstveno djelo ne bi prodrlo.

Zakoni mehanike, koje je Galilei otkrio i kojima je u bitnim točkama opovrgao peripatetičku fiziku, pa otkrića na nebu izvršena dalekozorom, ne samo što su ga učinila najgorljivijim pobornikom heliocentrične nauke, nego su mu pribavila i najmoćnije oružje za tu borbu. Baš neoborivost razloga, koje je iznosio protiv peripatetičke nauke i Ptolemejeva sistema, razjarila je njegove reakcionarne protivnike, te se u dva maha složila zavjera protiv njega. Prvi put je Galilei optužen kod rimske stolice g. 1615. Na osnovi istrage donijela je kongregacija indeksa g. 1616. odluku, kojom se nauka o gibanju Zemlje i mirovanju Sunca proglašava krivovjerjem, te se sve knjige, koje tu nauku iznose, zabranjuju.

Galilei se kasnije zanosio mišlju, da će svoje protivnike predobiti razlozima i dokazima i tako postići ukidanje zabrane iz g. 1616., pa je napisao svoje slavno djelo »Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo« (Razgovor o dvama najvažnijim sistemima svijeta), u kojem se u obliku razgovora između zastupnika Ptolemejeva i Kopernikova sistema i jedne treće osobe iznose razlozi i dokazi za Kopernikov sistem. Nakon što je pristao, da izvrši u rukopisu neke manje izmjene i uvrsti predgovor, koji je izradio dominikanac Riccardi, dobio je papinsko

odobrenje za štampu. Dok je ovo djelo kod pristaša Kopernikova sistema pobudilo najveće oduševljenje, ono je uspirilo mržnju protivnika. Podignuta je optužba kod inkvizicije i 68-godišnji Galilei morao je u Rim na suđenje. 22. VI. 1633. izrečena je osuda: uz uvjet, da se Galilei prisegom javno odreče heliocentrične nauke, sud odustaje od teških kazna, koje kanonsko pravo određuje za krivovjerje, i osuđuje ga samo na



Sl. 58. Galileo Galilei

gubitak slobode. Galilei je odmah nakon pročitane osude morao izreći prisegu po tekstu, koji mu je predložen, a u kojoj se odriče heliocentrične nauke i obvezuje, da ne će više ni usmeno ni pismeno iznositi bilo što u smislu te nauke. Galilei je zatim do konca života, 9 godina, ostao u zatočenju.

Crkva je još daljnjih više od 100 godina ostala na zabrani heliocentričnog sistema. Prijetnja, koju je predstavljala ta zabrana, oduzimala je učenjacima slobodu rada, sprečavala je objelodanjivanje naučnih radova i nametnula je uvaženim misliocima teške intelektualne žrtve. Tako je D e s c a r t e s, nakon

što je saznao za osudu Galileja, odustao od izdavanja svoga djela »Traité du monde« (Nauka o svijetu), kojemu su osnove bile kopernikanske. Još u 18. stoljeću vidimo, kako crkvena zabrana djeluje na slobodu mišljenja, kad je veleum kao naš slavni Dubrovčanin R u đ e r B o š k o v i ć u jednoj raspravi o putanji kometa, objelodanjenoj g. 1746., morao protiv svog uvjerenja, kako veli, »iz poštovanja prema svjedočanstvima svetog pisma i pokoravajući se odlukama svete rimske inkvizicije« tvrditi, da Zemlja miruje.

Tek godine 1757. dignuta je od strane katoličke crkve zabrana knjiga, koje naučavaju heliocentrični sistem (Galilejev »Dijalog« oslobođen je od te zabrane istom u početku 19. stoljeća).

Ruđer B o š k o v i ć izdao je 40 godina kasnije, kad su u indeksu zabranjenih knjiga već bile izbrisane knjige heliocentričnoga pravca, ponovno istu raspravu o putanji kometa. Tom je prilikom upozorio čitaoce na okolnosti, u kojima je štampano prvo izdanje. Te su okolnosti tražile izjavu u geocentričnom smislu, ali račun je Bošković i u prvom izdanju proveo, kao da se Zemlja giba.

Galileo G a l i l e i (sl. 58) (1564.—1642.) živio je kao profesor univerziteta u Pizi, Padovi, kasnije kao dvorski matematičar u Firenci. Već se rano počeo baviti istraživanjima o pojavama gibanja, te je otkrio zakone padanja i njihala. Rezultate ovih istraživanja izdao je potkraj života u dijalozima (Discorsi e dimostrazioni matematiche 1638.). Čuvši god. 1609., da je pronađen prvi dalekozor u Nizozemskoj, konstruirao je i sam dalekozor. Otkrića na nebu, učinjena dalekozorom (gorja na Mjesecu, 4 Jupiterova mjeseca, faze Venere, prvi tragovi Saturnova koluta, pjege na Suncu i njegova rotacija, razrješenje Kumovske Slame u skup zvijezda), objelodanio je 1609. (Sidereus nuncius = zvjezdani glasnik). Ova su otkrića u njemu, koji je kao profesor u Pizi još predavao Ptolemejevu nauku, stvorila uvjerenje o istinitosti Kopernikove nauke. Kako je ovo uvjerenje javno isticao, došao je u sukob sa inkvizicijom. Nakon osude ostao je interniran do smrti na imanju Arcetri. Potkraj života oslijepio je.

7. KEPLEROVI ZAKONI

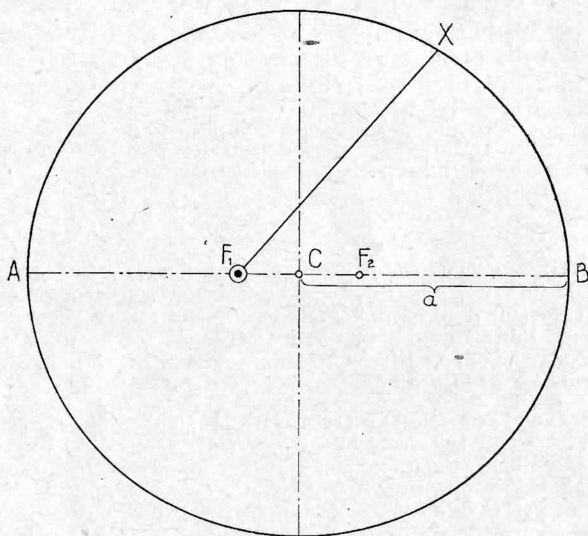
Prvi Keplerov zakon glasi:

Svaki se planet giba po elipsi, a Sunce je u jednom žarištu te elipse.

Ovim zakonom oborio je Kepler hiljadugodišnju tradiciju o kružnim putanjama planeta i uklonio zapreku slobodnom razvoju nauke o gibanju nebeskih tijela.

Elipsa (Sl. 59) je krivulja, opisana oko dviju točaka (žarišta F_1 i F_2), tako, da se ne mijenja zbroj udaljenosti njenih točaka od obaju žarišta.

Udaljenost ma koje elipsine točke od žarišta zove se *radiusvektor*[1] (na pr. XF_1). Promjer elipse AB, koji ide žarištima, zove se *glavna* os elipse, njezina polovica $AC = BC$ označuje se sa a. Omjer udaljenosti žarišta od središta prema polovici glavne osi, $FC : a$, zove se (numerički) *ekscentricitet elipse*. Taj broj za svaku je elipsu manji od 1.



Sl. 59

Slika 60. prikazuje putanju jednog planeta, u jednom žarištu je Sunce S, os je dužina $PA = 2a$. Točka P, u kojoj je planet Suncu najbliži, zove se p e r i h e l,[2] točka A, u kojoj je od Sunca najviše udaljen, zove se a f e l.[2] *Perihel i afel* zovu se zajedno a p s i d e, a pravac, koji ih spaja (smjer glavne osi), zove se p r a v a c a p s i d a. PS je perihelna, AS afelna udaljenost planeta, srednja je udaljenost, polovica njihova zbroja, poluos a.

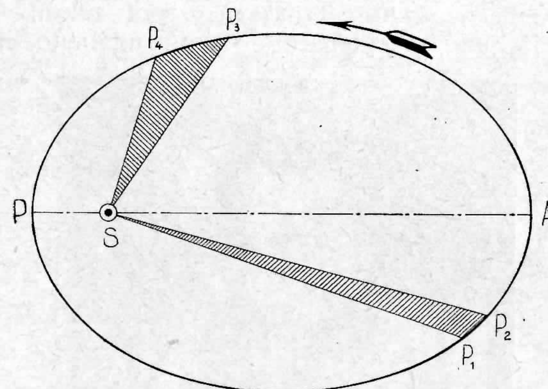
Drugi Keplerov zakon glasi:

Radiusvektori jednog planeta pređu u jednakim vremenima jednake površine.

Neka je na slici 60 P_1P_2 put, što ga pređe jedan planet na pr. u jednom danu. U tom je vremenu njegov radiusvektor došao iz položaja P_1S u položaj P_2S i prešao površinu P_1P_2S (osjenjenu na slici), koju možemo približno zamisliti kao trokut. Na drugom mjestu putanje, gdje je

[1] vehor (lat.) gibam se, radiusvektor = pomični radius.
[2] peri (grč.) oko, apo (grč.) od, helios (grč.) Sunce.

planet bliži Suncu, na pr. kod P_3 mora planet prema drugom Keplerovu zakonu preći u jednom danu toliki put P_3P_4, da trokut P_3P_4S, koji ovdje pređe njegov radiusvektor, bude jednak trokutu P_1P_2S. Posljedica je toga, kako je P_3P_4S trokut manje visine, da mu je baza P_3P_4 veća nego P_1P_2, t. j. planet u dijelu putanje P_3P_4 pređe u jednom danu veći put, on se giba brže nego u dijelu P_1P_2. *Najveća je brzina planeta prema tome u perihelu, najmanja u afelu.* Razlika između tih brzina to je veća, što je veći ekscentricitet elipse, što je ona više razvučena.



Sl. 60

Drugim je zakonom Kepler oslobodio astronomiju tradicionalne pretpostavke, da se nebeska tijela moraju gibati jednoliko. Kako ovaj zakon pokazuje, da brzina planeta opada, kad se planet udaljuje od Sunca, to očito Sunce utječe na gibanje planeta. Kepler je stoga na osnovi svog drugog zakona zaključio, da je Sunce, koje je u Kopernikovoj nauci bilo samo geometrijsko središte planetskog sustava, u stvari *fizički centar*, t. j. Sunce je izvor jedne sile, koja sili planete na gibanje oko njega. Tako je drugi zakon dao osnovu za *mehaniku neba*.

Treći Keplerov zakon glasi:

Kvadrati sideričnih ophodnih vremena planeta odnose se kao kubusi njihovih srednjih udaljenosti od Sunca.

Ako od dva planeta jedan ima siderično ophodno vrijeme T_1, drugi T_2, a srednja udaljenost od Sunca, koja je jednaka polovici elipsine osi, za prvi je planet a_1, za drugi a_2, onda je po trećem Keplerovu zakonu

$$T_1^2 : T_2^2 = a_1^3 : a_2^3$$

ili

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$$

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{konst.}$$

t. j. omjer kvadrata sideričnih ophodnih vremena prema kubu srednjih udaljenosti od Sunca za sve je planete isti.

Treći Keplerov zakon sadržava u sebi zakon, po kojem djeluje sila iz Sunca na planete u raznim udaljenostima. Da se



Sl. 61. Ivan Kepler

uzmogne tomu zakonu dati ispravni oblik, morali su biti poznati osnovni zakoni mehanike, nauke o gibanju. Međutim u Keplerovo doba ti zakoni još nisu bili pronađeni, već je temelje mehanike dao baš savremenik Keplerov, Galileo Galilei.

Ivan Kepler (sl. 61) (1571.—1630.) rodio se u siromaštvu, cijeli život proveo mučen materijalnim brigama, bolešću i vjerskim progonima u onom vremenu vjerskih ratova i početka 30-godišnjeg rata. Često je morao mijenjati obitavalište, imao se čak boriti, da spasi od lomače majku, koju su optužili kao vješticu. Izvanredne odlike uma i značaja Keplera, oštroumlje i silna mašta, koje ga čine ujedno genijalnim matematičarom i misliocem pjesničkog poleta, oduševljenje i žilavost u radu omogućile su, da je usprkos mukotrpnom životu Keplerovo znanstveno djelo po originalnosti, dubljini i opsegu jedno od najvećih svih vremena i naroda. Rođen u Württembergu, studira protestantsku teologiju u Tübingenu, gdje prima od matematičara Mästlina uputu u Kopernikov sistem. Presudno je u njegovu razvitku, kad je uspio da god. 1600. dođe u Prag kao pomoćnik Tihona Brahe, glasovitog astronoma i odličnog astronomskog opažača. Nakon jedne godine, iza smrti Tihonove, postao je njegovim nasljednikom u položaju dvorskog astronoma cara Rudolfa II. U vremenu praškog boravka izlazi 1609. njegova »*Astronomia nova de motibus stellae Martis*«, gdje su postavljena prva dva zakona planetskog gibanja. Treći zakon saopćen je 10 godina kasnije u djelu »*Harmonices mundi*«. U svojem djelu o lomu svjetlosti dao je konstrukciju po njemu prozvanog astronomskog dalekozora.

8. NEWTONOV ZAKON GRAVITACIJE

ZAKON GRAVITACIJE. Heliocentričnu nauku izveo je do savršenstva i dao joj potpuni unutrašnji sklad Izak Newton (Njutn) otkrićem zakona one sile, na koju se svode sve pravilnosti gibanja nebeskih tijela u Sunčevu sustavu.

Već je Kepler iz svog 2. zakona zaključio, da Sunce mora biti izvor sile, koja djeluje na gibanje planeta. Kepler međutim nije uspio da nađe zakon te sile u ispravnom obliku, jer je mislio, da ta sila djeluje na planet u smjeru njegova gibanja, t. j. u smjeru tangente putanje.

U doba Newtonova rada već je bio poznat zakon ustrajnosti (Galilei) i pojam centripetalne akceleracije i centripetalne sile (Huygens). Po zakonu ustrajnosti nije potrebna sila, da se tijelo, koje se giba, održi u gibanju; ali bez djelovanja sile tijelo će se gibati stalno istim smjerom i istom brzinom. Ako se tijelo giba po krivulji, onda to moramo svesti na djelovanje jedne *sile*, koja mu mijenja smjer gibanja, a djeluje okomito na tangentu putanje, momentani smjer gibanja. Ta se sila zove *centripetalna sila*, a daje tijelu *centripetalnu akceleraciju* u smjeru okomitom na tangentu. Ako se tijelo giba na kružnici, onda centripetalna sila ima smjer polumjera prema središtu, a jačina centripetalne sile F data je izrazom

$$F = \frac{4\pi^2 mr}{T^2},$$

gdje je r polumjer kružnice, T vrijeme, u kojem tijelo obiđe cijelu kružnicu, m masa tijela; centripetalna akceleracija je jednaka $F : m = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$.

Uzmimo, da se planet mase m giba u revolucionom gibanju oko Sunca sa sideričnim ophodnim vremenom T po kružnici, koje je polumjer jednak srednjoj udaljenosti a planeta od Sunca, a Sunce je u središtu kružnice. Centripetalna je akceleracija planeta upravljena prema Suncu. Planet se prema tome giba, kao da na nj djeluje centripetalna sila F, koja ga iz svake točke putanje vuče prema Suncu, a ima jačinu

$$F = \frac{4\pi^2 ma}{T^2}.$$

Po trećem je Keplerovu zakonu

$$\frac{T^2}{a^3} = C\ (konst.)$$

$$T^2 = Ca^3.$$

Uvrstimo li ovu vrijednost za T^2 u izraz centripetalne sile F, dobijemo

$$F = \frac{4\pi^2 ma}{Ca^3} = \frac{4\pi^2}{C} \cdot \frac{m}{a^2}.$$

Prema tome je centripetalna sila F, koja na planet djeluje kao privlačna sila Sunca, upravno proporcionalna masi planeta, a obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti planeta od Sunca.

Po trećem Newtonovu zakonu mehanike (zakon o jednakosti akcije i reakcije) djeluje planet na Sunce jednakom silom kao Sunce na planet. Stoga mora ta sila biti proporcionalna i masi Sunca M, a ako je ona proporcionalna i masi planeta i masi Sunca, onda je *proporcionalna produktu obiju masa*, te je

$$F = k\frac{M \cdot m}{a^2},$$

gdje je k jedna konstanta.

Da je centripetalna sila, kojom centralno nebesko tijelo djeluje na drugo nebesko tijelo, koje kruži oko njega, obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti, provjerio je Newton na gibanju Mjeseca oko Zemlje. Mjesec kruži oko Zemlje na putanji, koja je približno kružnica, sa sideričnim ophodnim vremenom T = *27 dana 7 sati 43 minute*. Polumjer te kružnice a iznosi 60 Zemljinih polumjera, t. j. $60\ R$, $R = 6\,370\ km$. Centripetalna sila, koja Mjesec drži na toj putanji, je očito privlačna sila, kojom Zemlja djeluje na Mjesec. Da Zemlja djeluje privlačnom silom na tijela, vidimo u pojavi *teže;* zbog teže padaju sva tijela na Zemlju s akceleracijom $g = 981$ cm sec^{-2}. Iskustvo nas uči, da teža ne prestaje djelovati na tijela, ni ako se ona udaljuju od Zemlje. Već je Kepler slutio, da Zemljina teža djeluje i na Mjesec. Newton je zaključio, da je *centripetalna sila, koja Mjesec drži na njegovoj kružnoj putanji, istovjetna sa Zemljinom težom, oslabljenom primjereno prema povećanoj udaljenosti.*

Udaljenost Mjeseca od središta Zemlje je 60 puta veća nego udaljenost tijela na površini Zemlje od središta. Prema tome morala bi centripetalna sila, koja djeluje na Mjesec, biti $60^2 = 3\,600$ puta slabija od teže na Zemlji, Mjesečeva centripetalna akceleracija dakle 3 600 puta manja od akceleracije teže na Zemlji g.

Polumjer Mjesečeve putanje iznosi

$$a = 60\,R = 60 \cdot 6370\ km = 60 \cdot 6{,}37 \cdot 10^8\ cm,$$

Mjesečevo siderično ophodno vrijeme

$$T = 27\ dana\ 7\ sati\ 43\ minute = 2{,}36.10^6\ sekunda.$$

Prema tome Mjesečeva centripetalna akceleracija iznosi

$$\frac{4\pi^2 a}{T^2} = \frac{4\pi^2.60\,R}{(2{,}36.10^6)^2} = \frac{4\pi^2.60.6{,}37.10^8}{5{,}57.10^{12}} = 0{,}273\ cm\ sec^{-2}.$$

Akceleracija teže na Zemlji g umanjena 3 600 puta iznosi

$$\frac{g}{3600} = \frac{981}{3600}\ cm\ sec^{-2} = 0{,}273\ cm\ sec^{-2}.$$

Podudaranje obiju vrijednosti dokazuje, da privlačna sila Zemlje stvarno opada obrnuto proporcionalno kvadratu udaljenosti od Zemlje i da je centripetalna sila, koja djeluje na Mjesec, stvarno istovjetna sa Zemljinom težom.

Dokazavši ovako, da privlačna sila djeluje po istom zakonu između Zemlje i tijela na njoj kao i između nebeskih tijela, zaključio je Newton, da u cijelom svijetu, kako na Zemlji, tako i u svemiru, djeluje jedna *univerzalna (sveopća) sila, kojom se*

među sobom privlače svaka dva tijela. Ovu je silu nazvao g r a v i t a c i j o m[1] i za njenu jačinu postavio je ovaj z a k o n g r a v i t a c i j e:

Svaka dva tijela privlače se među sobom silom, koja je direktno proporcionalna produktu njihovih masa, a obrnuto proporcionalna kvadratu njihove udaljenosti, t. j. ako su m_1 i m_2 mase dvaju tijela, r njihova međusobna udaljenost, a F privlačna sila, koja između njih djeluje, onda je

$$F = k\,\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

k je stalan broj, nazvan *konstanta gravitacije,* koji omogućuje izračunavanje jačine gravitacije, ako su nam poznate mase i njihova međusobna udaljenost. k je vrlo malen broj, jer je sila gravitacije vrlo malena, dok god mase nijesu veoma velike, kao što su mase nebeskih tijela.

Konstanta gravitacije k određena je brojnim mjerenjima privlačne sile između masa na Zemlji, te je

$$k = 6{,}7 . 10^{-8}\,\frac{din \cdot cm^2}{g^2}.$$

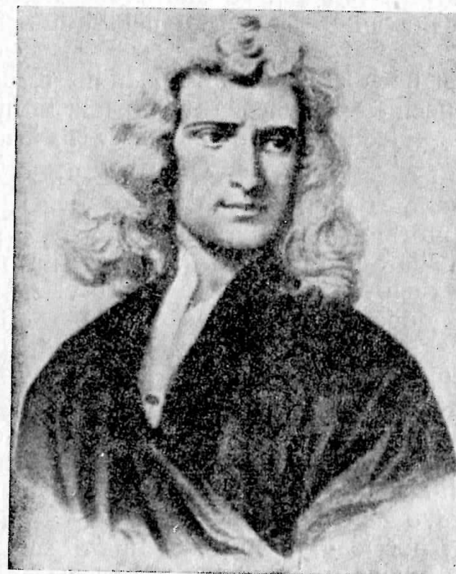
Newton je matematski dokazao, da su nužna *posljedica djelovanja gravitacije Sunca na planete sva tri Keplerova zakona* za gibanje planeta. Primjenom zakona gravitacije uspio je Newton da izračuna mase onih planeta u Sunčevu sustavu, koji imaju pratioce.

Poznavanje sile, koja djeluje na gibanje planeta, podvrglo je gibanje nebeskih tijela istim zakonima gibanja, koji vrijede i za zemaljska tijela. Newtonova nauka oslobodila je tako gibanje nebeskih tijela konačno one tajanstvenosti, koja mu se prije pripisivala, i stoga ova nauka znači jedan od najvećih koraka u napretku opće ljudske prosvjete.

Izak N e w t o n (sl. 62) (1643.—1727.) predstavlja u povijesti znanosti jedan od rijetkih slučajeva, gdje je život jednog genijalnog učenjaka i mislioca tekao u potpunoj sređenosti, blagostanju i zdravlju do velike starosti. Sa 27 godina je profesor na univerzitetu u Cambridgeu, gdje provodi 30 godina predan opsežnom znanstvenom radu. Prema tadanjem običaju, da se slavni učenjaci počaste visokim i unosnim položajima, postavljen za ravnatelja državne kovaonice novca, živio je kasnije u Londonu. Newton je dao znanstvena djela nenatkriljive savršenosti i takve svestranosti i bogatstva, da ovdje ne možemo više nego istaknuti ono, što

[1] Gravis (lat.) = težak

je za naš predmet najvažnije. Ideja gravitacije i njene istovjetnosti sa zemaljskom težom bila je sazrela već god. 1666. u 23-godišnjem Newtonu, ali mu se račun za akceleraciju Mjeseca nije slagao, jer je iznos polumjera Zemlje, koji je tada bio poznat, bio premalen, pa je stvar ostala neobjelodanjena. Kad su kasnije mjerenja dala iznos za jednu petinu veći, ponovljeni je račun pribavio potpunu potvrdu teorije. Osnove opće i nebeske mehanike saopćio je Newton u glavnom djelu *»Philosophiae naturalis principia mathematica« (1687.).* Newton je otkrio i rastavljanje svjetlosti u boje (spektar). Pogreška leća, koja je time uvjetovana (hromatički otklon), dala je povod, da je (1670.) konstruirao dalekozor sa zrcalom (reflektor). Newton je dao prvo ispravno tumačenje plime i oseke na osnovi gravitacije Mjeseca i Sunca i odredio iz veličine plime masu Mjeseca. Moćno pomagalo bio mu je u radu diferencijalni i integralni račun, koji je on sam pronašao.



Sl. 62. Izak Newton

Sa Newtonovim je djelom heliocentrična nauka znanstveno dovedena do konačne pobjede. Izgradnja heliocentričnog sistema od Kopernika do Newtona znači jednu od najvećih revolucija u mišljenju. U ovoj je revoluciji velikim umnim naporom izvojevana pobjeda naprednog znanstvenog mišljenja protiv jednom kroz stoljeća svemoćnom reakcionarnom sistemu; ona

je imala i dalekosežne posljedice kao idejni preteča revolucionarnih društvenih pokreta.

Odgovarajući razvitku proizvodnih snaga, u doba prijelaza manufakture u mašinsku industriju, diže se u 18. stoljeću na osnovi heliocentričnog sistema zgrada nebeske mehanike i s njom povezane opće mehanike. Čovječji je razum dokučio ustrojstvo Sunčeva sustava; nebeska tijela, kojima poznaje zakone gibanja, predviđa putove i otkriva prirodu, ne zadaju čovjeku više strah, oni su sada predmeti sistematičnog i uspješnog istraživanja. Nebeska mehanika, tekovina čovječjeg razuma, odgojenog mehanikom i matematikom, daje biljeg mišljenju 18. stoljeća. Astrologiji je sada konačno oduzeta svaka znanstvena osnova. Nastaju prve znanstvene, na mehanici osnovane teorije o postanku i razvitku nebeskih tijela i njihovih sustava.

Silni uspjesi nebeske mehanike učinili su, da je heliocentrična nauka općenito prihvaćena, te postala bitnim elementom opće naobrazbe i jednom osnovom našeg naziranja na svijet.

PERTURBACIJE I OTKRIĆA NOVIH PLANETA. Kako po zakonu gravitacije djeluje između svaka dva tijela u svemiru privlačna sila, moramo očekivati, da na planete neće djelovati samo privlačna sila Sunca, nego i privlačna sila ostalih planeta. Pojedini planet djelovat će gravitacijom to više, što mu je veća masa i što bliže dođe drugom nebeskom tijelu. Mi bismo prema tome morali očekivati, da će gibanje planeta odstupati od oblika propisanog Keplerovim zakonima, koji vrijede, strogo uzevši, samo onda, ako se planet giba pod utjecajem *jednog jedinog* centra privlačne sile. Ako se planeti stvarno, kako su opažanja pokazala Kepleru, a pokazuju i danas, gibaju uglavnom po Keplerovim zakonima, onda se to svodi na činjenicu, da je *masa Sunca neuporedivo veća nego masa i najvećeg planeta.* Masa svih planeta skupa iznosi samo 750-ti dio mase samoga Sunca. U gibanju svakog planeta prevladat će stoga utjecaj Sunca.

Točnijim motrenjem gibanja planeta našla su se ipak sitnija odstupanja planeta od njihovih keplerskih putanja. Ova se odstupanja u mehanici neba svode na djelovanje gravitacije drugih planeta, a zovu se p e r t u r b a c i j e.[1]

Na osnovi *računa perturbacija* uspjela je mehanika neba, da velikom točnošću unaprijed odredi mjesta, na kojima će se naći planeti. Račun perturbacija omogućio je štaviše, da se iz perturbacija, zapaženih na putanjama poznatih planeta, nađu putanje i mjesta novih, još nepoznatih planeta i na taj način ovi planeti otkriju na nebu.

[1] perturbatio (lat.) = poremećenje.

Godine 1781. otkrio je H e r s c h e l nebesko tijelo, za koje je L a p l a c e, izračunavši mu putanju, dokazao, da je planet, koji kruži oko Sunca u udaljenosti većoj nego Saturn, najdalji do tada poznati planet. Ovaj sedmi planet, kojim je prvi put povećan broj planeta poznatih starom i srednjem vijeku, dobio je ime U r a n.

U toku vremena pokazalo se, da se gibanje Urana, kako je proizlazilo računom iz njegove putanje i perturbacija od ostalih planeta, ne podudara s opažanjima. Iz toga se zaključilo, da postoji jedan nepoznati planet, još dalji od Sunca nego Uran, koji svojim perturbacijama proizvodi ona odstupanja od teorijske putanje, koja su zapažena. L e v e r r i e r izračunao je putanju toga nepoznatog planeta, njegovu masu i mjesto, gdje se morao tada (u septembru god. 1846.) nalaziti. U udaljenosti manjoj nego jedan stupanj od prorečenog mjesta nađen je doista taj planet u Berlinu prvu večer, kad su ga tražili. Ovaj je osmi planet dobio ime N e p t u n.

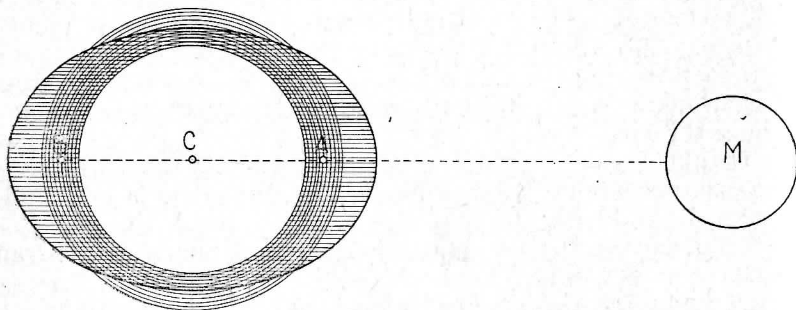
Slično otkriće novog planeta pada u naše dane. Kad se upoznalo gibanje Uranovo uzduž cijele njegove putanje — Uran je istom god. 1865. izvršio od svog otkrića jedan potpuni ophod oko Sunca — zapažene su kod njega perturbacije, koje se nijesu mogle potpuno rastumačiti ni djelovanjem Neptuna. Stoga se pomislilo, da bi mogao da postoji i djeluje gravitacijom na planet Uran još jedan nepoznati planet izvan Neptunove putanje (transneptunski planet). Hipotetičnu putanju tog transneptunskog planeta izračunao je P. L o w e l l, a na njegovoj zvjezdarnici u Sjev. Americi, koja je bila i određena poglavito za studij planeta, stalno se tražio taj planet; 13. marta 1930. nađen je kao zvijezda vrlo slaba sjaja. Ovaj deveti planet dobio je ime P l u t o n.

Metode računanja perturbacija izgradio je do velike savršenosti matematičar i astronom P. S. L a p l a c e (1749.—1827.) u svom monumentalnom djelu »Mécanique céleste« (1799.—1825.).

Putanju nepoznatog planeta Neptuna izračunao je već nešto ranije od L e v e r r i e r a i nezavisno o njemu A d a m s, student u Cambridgeu. Adams je imao rezultat, gotovo sasvim jednak, već u jeseni 1845., Leverrier istom u ljetu 1846., ali je stjecajem prilika Leverrierov rezultat ranije objelodanjen i doveo do otkrića samog planeta.

PLIMA i OSEKA. Gravitacija ne djeluje samo na gibanje nebeskog tijela kao cjeline, nego ona može da pokrene i napose

njegove pokretljive dijelove, kao što su oceani, mora, atmosfera. Na takvom djelovanju gravitacije osniva se na Zemlji pojava *plime* i *oseke*, periodičnog nadolaženja i spuštanja razine mora.



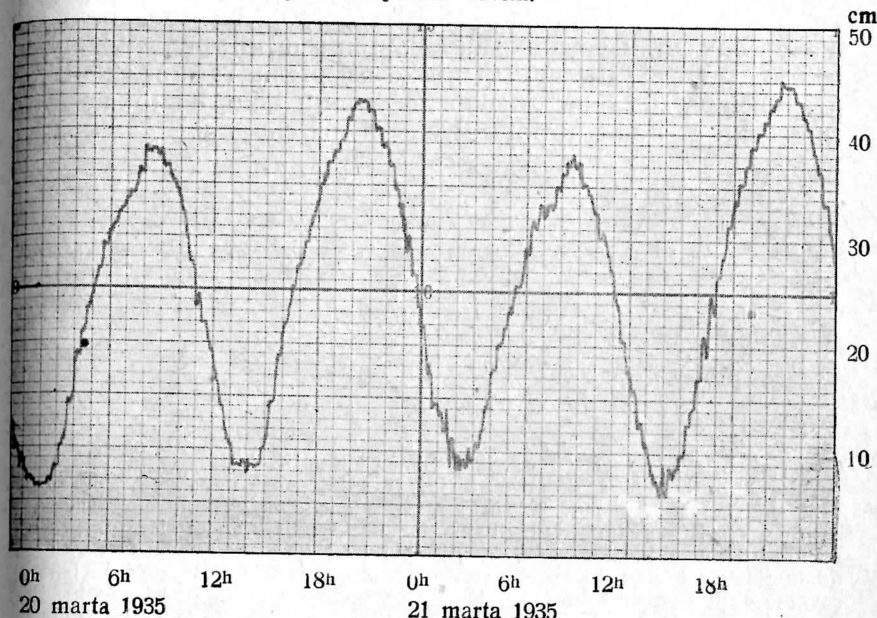
Sl. 63

Zamislimo (Sl. 63) Zemlju kao kuglu i oko nje vodeni plašt, svjetsko more (u stvari more pokriva nešto manje od $^3/_4$ Zemljine površine). *M* predstavlja Mjesec, koji je 60 Zemljinih polumjera udaljen od središta Zemlje *C*. Vodena masa u točki *A* udaljena je 59 Zemljinih polumjera od Mjeseca, a u točki *B* 61 polumjer. Iz toga slijedi, da je gravitaciono djelovanje Mjeseca na vodene mase u A jače, a na vodene mase u *B* slabije nego na Zemljinu krutu jezgru u *C*. Prema tome će vodene mase u *A* primiti veću akceleraciju u pravcu prema Mjesecu nego kruta jezgra, a vodene mase u *B* manju. U dijelu *A* podigne se dakle razina vode, jer se voda približava Mjesecu više nego kruta Zemlja, a u *B* se u protivnom pravcu također podigne razina vode, jer voda ondje zaostaje za krutom Zemljom u približavanju Mjesecu; podigne se dakle na strani Zemlje okrenutoj Mjesecu i na protivnoj strani po jedan val plime. Kako se međutim Zemlja vrti oko osi od zapada prema istoku, a val ostaje u pravcu, koji spaja središte Zemlje i Mjeseca, to oba vala plime prelaze preko Zemlje u pravcu od istoka prema zapadu. Prema tome bi svako mjesto na moru moralo imati plimu i kad mu je Mjesec u gornjoj i kad je u donjoj kulminaciji, dakle dva puta u jednom »Mjesečevu danu«, t. j. vremenu između dviju gornjih kulminacija Mjeseca, koje iznosi $24^h\ 50^m$. Stvarno se uglavnom i pojavljuje *plima* na obalama 2 puta u Mjesečevu danu, a između dviju plima su dvije *oseke*.

Najviša razina mora (visoka voda) ne nastupa istodobno sa kulminacijom Mjeseca, jer za nadolaženje vode treba vremena. Vrijeme za koliko visoka voda zakasni iza kulminacije Mjeseca različito je na različitim mjestima, a utvrđuje se za svaku veću luku (»lučko vrijeme«).

Na vodene mase na Zemlji uz Mjesec djeluje, iako radi veće daljine slabije, i gravitacija Sunca. Stoga će plima dostizavati različite visine prema tome, kako se sastave privlačne sile Mjeseca i Sunca. Najjača je plima, kad su Sunce i Mjesec na istoj strani Zemlje (kad je mlađak) i kad su oba tijela s protivnih strana Zemlje (kod punog Mjeseca), najslabija, kad je Mjesec u jednoj četvrti.

U Jadranu zna razlika najvišeg i najnižeg stanja mora unutar jednog dana dostići i 1,5 m. Slika 64 pokazuje plimu i oseku, kako je zabilježena u luci Bakru mareografom[1] Geofizičkog zavoda u Zagrebu. Razlika između najvišeg i najnižeg stanja mora je oko 40 cm.



Sl. 64

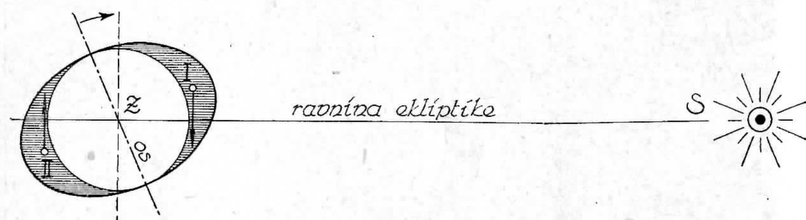
Razlika najvišeg i najnižeg stanja morske razine dosiže u drugim morima i više od 10 metara. Kako val plime prelazi preko zemaljske kugle u smjeru protivnom njenoj dnevnoj vrtnji, to bi on zbog otpora vodenih masa i tla i zbog trenja mogao smetati vrtnji Zemlje i usporavati je. Posljedica toga učinka plime bilo bi na Zemlji povećavanje vremena rotacije, t. j. produljenje dana. Ta posljedica plime i oseke nije na gibanju Zemlje još utvrđena.

PRECESIJA. Poznato je iz mehanike, da os žvrka, dok je vertikalna, pri rotaciji zadržava svoj položaj, i ako je samo u jednoj točki poduprta. Uzrok je ovoj pojavi inercija. Ako os zvrka postavimo koso, onda niti je Zemljina teža sasvim obori, niti se ona podigne do vertikalnoga položaja, nego polako

[1] sprava, koja bilježi plimu i oseku, po franc. marées (morska doba, plima i oseka) i grč. grafo, pišem.

kruži oko vertikale opisujući plašt stošca. Ovo se gibanje zvrkove osi zove *precesijsko gibanje.*

Našu Zemlju možemo zamisliti kao veliki zvrk, njezina rotacijska os, koja je ujedno nebeska polarna os, radi inercije nastoji da zadrži svoj položaj. Međutim radi spološtenosti Zemlje i kosog položaja njezine rotacijske osi prema ravnini ekliptike gravitaciona sila Sunca djeluje na Zemlju tako, da joj nastoji rotacijsku os podići u položaj okomit na ekliptici.



Sl. 65

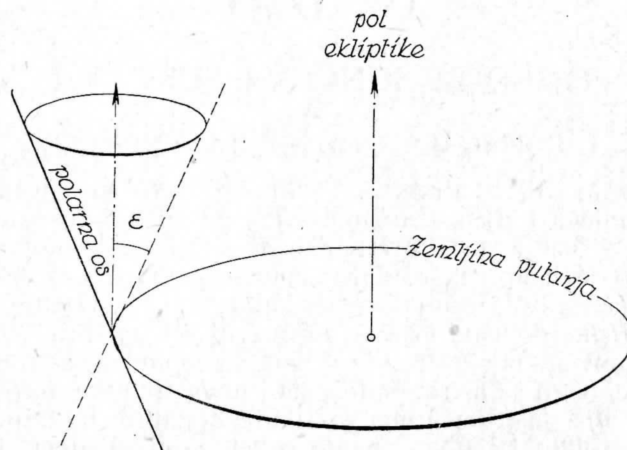
Neka su *S* i *Z* (Sl. 65) središta Sunca i Zemlje, koja se oba nalaze u ravnini ekliptike. Masa Zemlje (kojoj je spološtenost na slici pretjerana) radi spološtenosti i kosine osi nije raspoređena simetrično prema ravnini ekliptike. Dok je naime kuglasti (na slici neosjenjeni) dio Zemlje simetričan prema ravnini ekliptike, osjenjeni dijelovi I i II, s kojima Zemlja odstupa od kuglastog oblika, nijesu simetrično raspoređeni. Masi I, koja je iznad ravnine ekliptike, ne odgovara simetrično položena masa ispod ravnine, a za masu II opet nema simetrične mase nad ravninom. Gravitacija Sunca, simetrična prema ravnini ekliptike, djeluje parom sila (na slici označen strelicama) tako, da bi uspostavila simetriju poremećenu kosim položajem osi, t. j. da bi dijelove I i II povukla prema ravnini ekliptike i time kosu os podigla do okomitog položaja.

Kao što kod običnog zvrka iz djelovanja Zemljine teže i inercije nastaje precesijsko gibanje kose osi oko vertikale, tako i kod Zemlje iz djelovanja gravitacione sile Sunca i iz inercije nastaje *precesijsko gibanje Zemljine rotacijske osi, a time i nebeske polarne osi oko okomice na ravninu ekliptike. Zbog ovog* precesijskog gibanja nebeska *polarna* os *opisuje plašt stošca oko okomice na ekliptiku* (Sl. 66.).

Budući da polarna os stoji okomito na ekvatoru, to je kut između polarne osi i okomice na ekliptiku jednak kutu između ravnina ekvatora i ekliptike, t. j. jednak priklonu ekliptike $\varepsilon = 23\frac{1}{2}^0$.

Kut između polarne osi i okomice na ekliptiku ostaje stalan, dok polarna os kruži po plaštu stošca. Prema tome ravnina

ekliptike zadržava stalan položaj, dok se položaj ekvatorske ravnine mijenja. Stoga se sjecišta ekvatora sa ekliptikom, *ekvinokcijske točke* (proljetna i jesenska točka) pomiču na ekliptici. *Precesija ekvinokcija* (vidi I. 9.) je dakle posljedica *precesijskog gibanja Zemljine rotacijske osi.*



Sl. 66

Zbog precesije ekvinokcija je proljetna točka, koja je u starom vijeku bila u zviježđu Ovna, prešla u zviježđe Riba, gdje se danas nalazi.

Kako okomica na ekliptiku prolazi na nebeskoj sferi »*polom ekliptike*«, a polarna os *nebeskim polom,* to slijedi iz okretanja polarne osi, da nebeski pol opisuje na nebeskoj sferi krug oko pola ekliptike sa polumjerom $\varepsilon = 23\frac{1}{2}^0$.

Vrijeme, u kojem bi polarna os opisala cijeli plašt stošca, ili proljetna točka obišla cijelu ekliptiku, ili nebeski pol se opet vratio na isto mjesto, iznosi okruglo *26000 godina* i zove se *Platonova godina.*

Kako je posljedica precesijskog gibanja ekvinokcijskih točaka, da se vremenom mijenja položaj nebeskih polova, to vremenom preuzimaju razne zvijezde stajačice ulogu, da budu »polarna zvijezda«. Tako se od Hiparhovih vremena do danas sjeverni nebeski pol sve više primicao današnjoj polarnoj zvijezdi α Malog Medvjeda. Pol je od nje bio udaljen u Hiparhovo vrijeme oko 12^0, danas je udaljen oko $1\frac{1}{4}^0$, a približavanje će trajati do god. 2100., kada će sjeverni pol od α Malog Medvjeda biti udaljen samo 28′. God. 14000. bit će polarna zvijezda Vega u zviježđu Lire, koja danas u našim krajevima dolazi u zenit.

IV. DIO

PRIRODA SUNČEVA SUSTAVA

1. POMAGALA I METODE ASTROFIZIKE

POJAM ASTROFIZIKE. Veliki uspjesi u istraživanju nebeskih pojava i tijela u novom vijeku, koji daleko nadmašuju sve ono, što su stvorile prethodne tisuće godina, omogućeni su time, što je napredak drugih znanosti pribavio astronomima pomagala, za koja ranija vremena nijesu znala. Osobito je napredak *fizike* odlučno utjecao na razvoj astronomije. Fizikalna otkrića novog vijeka ne samo što su oplodila astronomsko mišljenje, nego su astronomiji dala i nova sredstva, *instrumente za motrenje*. Instrumentima se silno obogatilo motrenje i sabralo se toliko i takovo znanje o nebeskim tijelima, kakovo čovjek, upućen samo na svojih pet ćutila, ne bi nikad stekao.

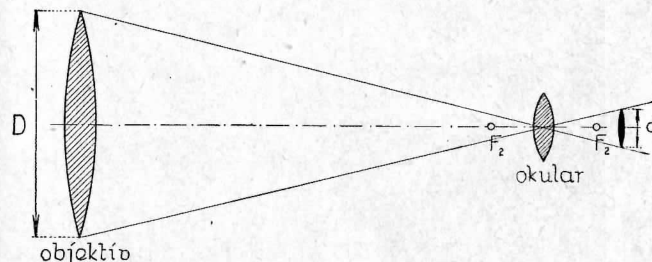
Sve ovo znanje o prirodi nebeskih tijela, stečeno novovjekim, napose fizikalnim pomagalima i metodama, tvori dio astronomije, koji se zove *astrofizika.*

DALEKOZOR. Među ove tekovine novog vijeka ide u prvom redu *dalekozor* (durbin ili teleskop). Pomoću dalekozora vidimo udaljene predmete veće i jasnije, nego što bismo ih prostim okom vidjeli, dalekozorom su dakle predmeti prividno približeni.

Astronomski ili *Keplerov dalekozor* sastoji se u bitnom od dviju sabirnih leća. Jedna od tih leća je veća i okrenuta prema predmetu (objektu) i zove se *objektiv;* na drugu, manju gleda se okom i ona se zove *okular*. Objektiv je učvršćen u jednom kraju podulje šire cijevi, okular u užoj i kraćoj cijevi, koja se može prema potrebi više ili manje izvlačiti.

Prema zakonima optike *cijela dužina dalekozora jednaka je zbroju žarišnih daljina objektiva i okulara.* Astronomski dalekozor daje obrnutu sliku, što kod nebeskih tijela ne čini nikakovu smetnju, jer pojmovi »gore« i »dolje« imaju smisla samo na pojedinom mjestu Zemlje.

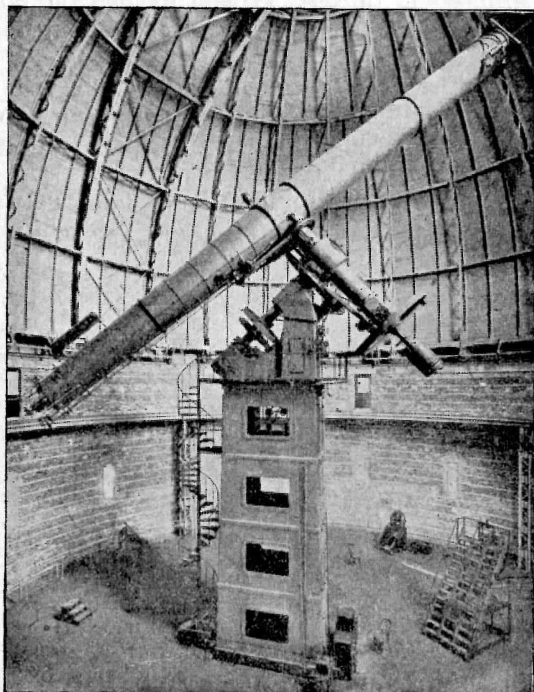
Ovakovi dalekozori s lećom kao objektivom zovu se *refraktori,* jer se slika predmeta stvara lomom (refrakcijom) u lećama. Radi optičkih pogrešaka običnih leća sastavljene su leće u refraktoru na poseban način, da se dobiju ispravne slike. Kako se u optici pokazuje, *cjelokupno povećanje slike u astronomskom dalekozoru jednako je omjeru žarišne daljine objektiva prema žarišnoj daljini okulara* $f_1 : f_2$. To povećanje možemo izraziti još na drugi način: ako je *D* promjer objektiva, a *d* promjer njegove umanjene realne slike, koju daje okular (sl. 67.), onda je omjer žarišnih daljina približno jednak omjeru udaljenosti objektiva od okulara prema udaljenosti slike od okulara, pa je *cjelokupno povećanje dalekozora* $f_1 : f_2 = D : d$. Mjerenjem okularne slike objektiva, koju dobijemo, ako dalekozor uperimo na vedro nebo po danu, praktično se i određuje povećanje dalekozora.



Sl. 67.

Uvećavanjem promjera (»otvora«) objektiva *D* ulazi više svjetlosti u dalekozor, pa možemo upotrebiti veća povećanja, a da slike ne izađu pretamne. No ipak su tu postavljene granice, jer se kod većih i složenijih leća sve veći dio svjetlosti gubi odbijanjem na graničnim plohama višestrukih leća i apsorpcijom u staklu. Radi toga se u gradnji refraktora ne može ići bitno preko 1 m otvora objektiva. Otvor objektiva često se označuje i »palcima« (oznaka: ″), gdje je otprilike 1″ = 2,5 cm. Tako četveropalčani refraktor ima promjer objektiva 4″ = 10 cm. Ako mijenjamo okulare, te uzimamo okulare sa sve manjom žarišnom daljinom, dobit ćemo sve veća povećanja. No radi jasnoće slike ima svaki dalekozor i granicu povećanja, koja se mogu postići mijenjanjem okulara. Praktično se upotrebljavaju povećanja, koja ne prelaze znatno broj, koji dobijemo, ako promjer objektiva u *cm* pomnožimo sa 20. Tako bi kod četvero-

palčanog refraktora bilo najveće još podesno povećanje 250-struko. Veće povećanje može se onda postići još uvećanjem žarišne daljine objektiva, dakle i većom dužinom cijelog dalekozora. No i tu postoje praktične granice radi teškoća kod tehničke izvedbe dugačkih dalekozora.

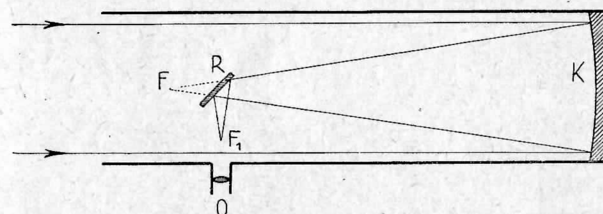


Sl. 68. Veliki refraktor Yerkes-zvjezdarne, Sjev. Amerika

Nijedno povećanje dalekozora, pa i na najjačim današnjim dalekozorima, ne daje nam od zvijezde stajačice toliko povećanu sliku, da bi nam se ona prikazala drugačije nego kao svijetla točkica. Korist od dalekozora u pogledu zvijezda stajačica je u tom, što njim vidimo zvijezde vrlo slabe svjetlosti, koje prostim okom uopće ne možemo opaziti. Osim toga mogu se dalekozorom vršiti daleko preciznija mjerenja, a i primjene astrofizikalnih pomagala vezane su na upotrebu dalekozora. Sl. 68. pokazuje refraktor u Yerkes-zvjezdarni, najveći na svijetu.

Galilejev ili *holandski dalekozor* ima kao okular rasipnu leću, te daje uspravne slike. Kraći je od Keplerova, jer mu je dužina jednaka razlici žarišnih daljina objektiva i okulara, ali vidno polje mu je manje. On se ne može upotrebiti za astronomska mjerenja, jer žarište objektiva pada izvan cijevi dalekozora, pa se ne može opremiti nitnim križem. U malom obliku Galilejev dalekozor služi kao priručni dalekozor, na pr. za kazalište.

Radi optičkih pogrešaka leća, koje traže kompliciranu izvedbu objektiva velikih dalekozora, upotrebljavaju se i dalekozori, kojima je objektiv konkavno zrcalo, najčešće parabolično. Sliku, koju daje zrcalo, gledamo okularom kao i kod refraktora. Kod Newtonove se konstrukcije (sl. 69.) zrake svje-



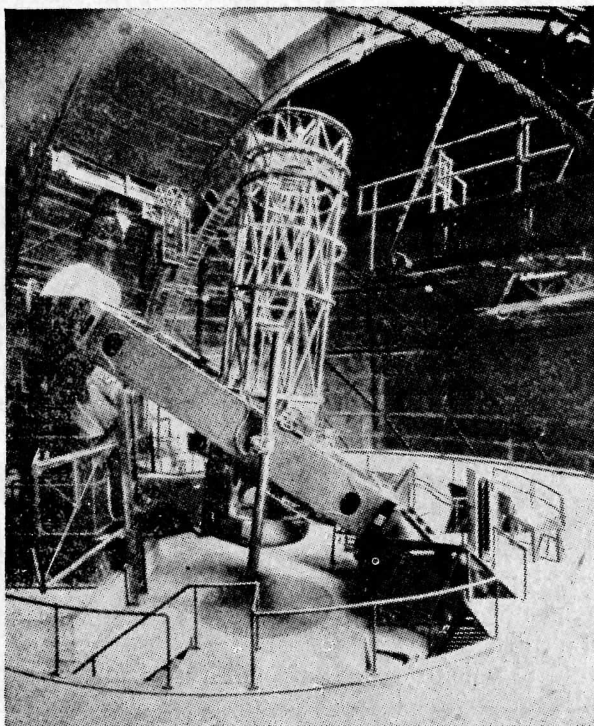
Sl. 69

tlosti, prije nego što se sastaju u žarištu *F* konkavnog zrcala *K*, odbiju od ravnog zrcala *R*, nagnutog pod kutom od 45⁰ prema osi dalekozora, te dolaze u okular *O* sa strane. Takovi se dalekozori sa zrcalom zovu *reflektori*, jer slika nastaje odbijanjem (refleksijom) svjetlosti u zrcalu. Reflektori nisu ograničeni u svom opsegu, te su danas najveći dalekozori na svijetu upravo reflektori.

Navest ćemo nekoje od najvećih refraktora i reflektora:

Vrst dalekozora	Promjer objektiva	Opservatorij
Refraktor	102 cm	Yerkes-zvjezdarna, Sj. Amerika (sl. 68.)
„	91 cm	Lick-zvjezdarna, Sj. Amerika, Kalifornija
„	83 cm	Meudon, Francuska
„	76 cm	Pulkovo kod Lenjingrada, SSSR
Reflektor	258 cm	Mt. Wilson, Sj. Amerika, Kalifornija (sl. 70. i 71.)
„	184 cm	Victoria, Kanada
„	183 cm	Birr Castle, Irska
„	152 cm	Mt. Wilson, Sj. Amerika, Kalifornija

U najnovije vrijeme izgrađen je reflektor od 5 m promjera i smješten na Mount Palomaru, Kalifornija. Time je daleko nadmašen i slavni Hooker-reflektor od 2,5 m promjera na Mount Wilsonu u Kaliforniji (slike 70. i 71.).

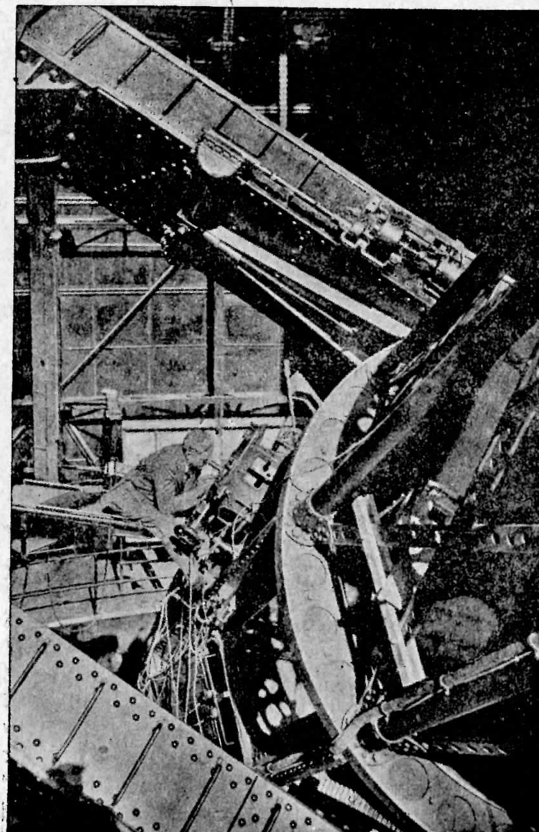


Sl. 70. Hooker-reflektor Mt. Wilson-zvjezdarne, Kalifornija

Astronomski opservatorij univerziteta u Beogradu, osnovan 1930., ima refraktor 65 cm otvora i 10,5 m žarišne daljine objektiva (sl. 72.).

Nije sigurno utvrđeno, tko je prvi pronašao dalekozor; 2. X. 1608. zatražen je od nizozemske vlade patent na dalekozor. U maju 1609. već je za nj preko Pariza čuo Galileo Galilei i po opisu odmah konstruirao svoj dalekozor, koji se još danas čuva u Firenzi. Ideju i teoriju dalekozora sa dvije sabirne leće dao je Ivan Kepler 1611., a prvi takav dalekozor izradio je Kristof Scheiner. Reflektor je prvi opisao James Gregory 1663., a različite konstrukcije reflektora dali su Izak Newton i G. Cassegrain oko

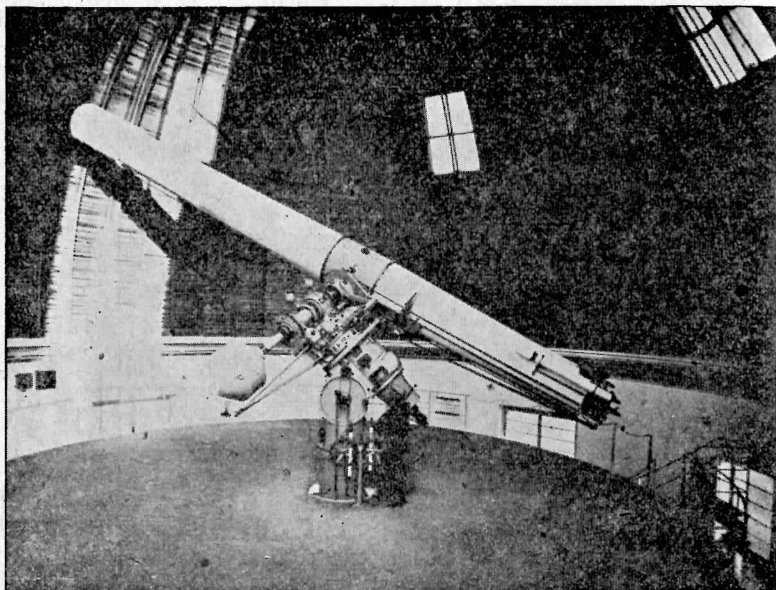
1670. Reflektor je osobito upotrebljavao William Herschel u 18. stoljeću. Moderne leće refraktora korigirane su vrlo dobro obzirom na glavne optičke pogreške, te su drugačije udešene za vizuelna motrenja nego za fotografiranje. Kod reflektora je to svejedno. Tu su isprva upotrebljavali metalna posrebrena zrcala, kasnije su prema prijedlogu Foucaulta posrebrivali staklena zrcala na konkavnoj strani. Kako se taj srebrni amalgam mora redovito obnavljati, prešlo se danas na prevlake aluminijem, koje imaju velike prednosti, te su najveći reflektori svijeta (na Mt. Wilsonu i Mt. Palomaru) tako izvedeni.



Sl. 71. Okularni dio Hooker-reflektora Mt. Wilson-zvjezdarne, Kalifornija

FOTOGRAFIJA. Izum fotografije dao je čovjeku izvanredno savršeno sredstvo, da od onoga, što vidi, sačuva trajnu i

vjernu sliku. S usavršavanjem fotografije pokazalo se, da fotografija osjetljivošću, vjernošću i točnošću premašuje i najbolje čovječje oko. Prirodno je, da se fotografija radi svojih odlika počela već rano primjenjivati kod proučavanja nebeskih pojava i tijela.



Sl. 72. Veliki refraktor Astronomskog opservatorija univerziteta u Beogradu

Prednosti, koje ima fotografsko snimanje nebeskih objekata pred vizuelnim[1] motrenjem, jesu uglavnom ove:

a) Fotografijom možemo učiniti vidljivim nebeska tijela tako slabe svjetlosti, da ih okom ne možemo ni pomoću najjačih dalekozora vidjeti. To je moguće zbog toga, što su s jedne strane fotografske ploče vrlo osjetljive, a s druge strane i vrlo slaba svjetlost ostavlja jasan trag na fotografskoj ploči, ako je dovoljno dugo eksponiramo (t. j. izložimo djelovanju svjetlosti). Nastajanje crnog traga na fotografskoj ploči osniva se na izlučivanju srebra iz srebrnih spojeva, a srebra se izluči to više, što

[1] vizuelno (lat. visus = vid) je motrenje, kad je izvršeno gledanjem prostim okom ili na dalekozoru.

dulje djeluje svjetlost na jedno mjesto ploče, te što je jača ta svjetlost. Dugim eksponiranjem bilo je moguće saznati za nebeske objekte i raspoznati na njima pojedinosti, do kojih nikad ne bismo došli na vizuelni način. Time je fotografija omogućila otkrivanje još nepoznatih nebeskih tijela.

b) Ima mnogo važnih nebeskih pojava, koje su tako kratko vrijeme vidljive, da je nemoguće u tom vremenu na njima izvršiti sva opažanja i mjerenja, potrebna za njihovo proučavanje. Takve su na pr. pojave kod pomrčina Sunca. U ovim slučajevima fotografije će sačuvati pojavu za kasnije temeljito i svestrano proučavanje.

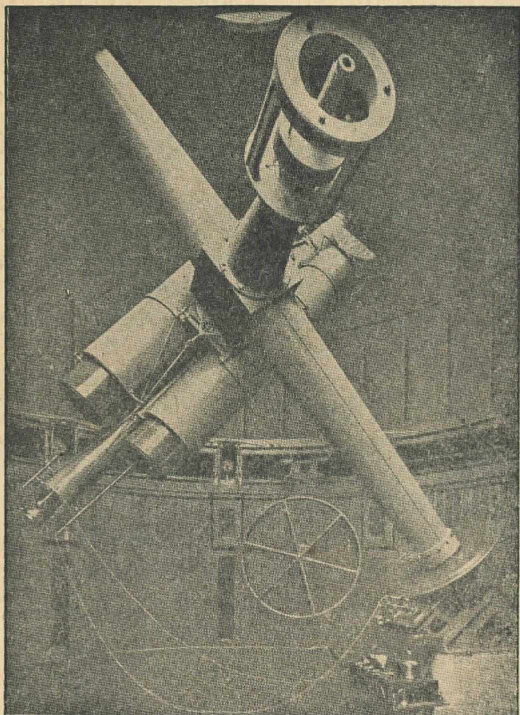
c) Mjerenja vizuelna, neposredno na dalekozoru, za astronoma su često vrlo naporna (dugotrajan noćni rad!). Današnja savršenost fotografske tehnike omogućila je fotografije neba takve točnosti i oštrine, da se mjerenja vrlo malih pomaka i pojedinosti mogu izvršiti na fotografskoj snimci neba umjesto na nebu samom. Na ovaj način moguće je izvršiti opsežne astronomske radove, za koje inače ne bi dostajala čovječja snaga.

d) Fotografska je ploča osjetljiva više na modru svjetlost nego na crvenu. No fotografska se ploča može učiniti osjetljivom i za vrste zrakâ, koje oko uopće ne osjeća kao svjetlost. Time je omogućeno ispitivanje nebeskih tijela i pojava, koje oko uopće ne vidi.

e) Naše oko, u jednu ruku zbog svoje konstrukcije, u drugu ruku jer stoji pod utjecajem našeg tjelesnog i duševnog raspoloženja, izloženo je raznim varkama, od kojih je fotografska ploča slobodna. Stoga se mogu vizuelna opažanja fotografijom uspješno kontrolirati i provjeravati, pa su pojave, koje je vizuelno opažanje iznijelo, već znale da budu fotografijom opovrgnute (na pr. kanali na planetu Marsu).

Fotografiranje neba zahtijeva poseban uređaj dalekozora. Za fotografiju se mogu urediti i refraktori i reflektori. Dalekozor, koji služi specijalno za dobivanje nebeskih fotografija, zove se *astrograf*. Astrograf ima mjesto okulara kasetu, u kojoj se izlaže fotografska ploča. Astrografi postavljeni su uvijek ekvatorijalno. Da bi slika, koju na fotografskoj ploči stvara objektiv, padala za cijelog vremena ekspozicije na isto mjesto fotografske ploče, treba da astrograf vrtnjom oko satne osi prati što točnije prividnu vrtnju nebeske sfere. Međutim ni jedan mehanizam za vrtnju ne radi tako savršeno, da bi slika ostala na istom mjestu s onom točnošću, koja se zahtijeva za astronomsku upotrebu snimaka. Stoga se astrograf sastoji od dva

dalekozora s objektivima jednake žarišne daljine, koji su među sobom čvrsto povezani. Jedan je od tih dalekozora uređen za fotografiju, drugi za vizuelno motrenje. Dok god je fotografska ploča eksponirana u fotografskom dalekozoru, astronom motritelj gleda isti nebeski objekt u vizuelnom dalekozoru i regulira položaj astrografa tako, da mu vizuelna slika objekta ostaje u sjecištu nitnog križa.

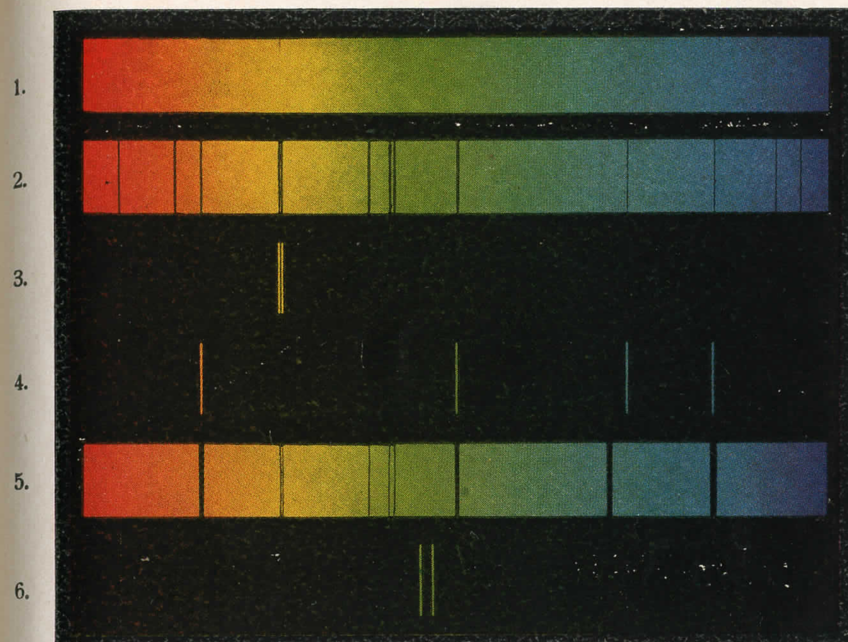


Sl. 73. Bruce-astrograf

Slika 73 pokazuje Bruce-astrograf u Heidelbergu. Kod njega golema, 5½ m duga satna os nosi 3 dalekozora, dva fotografska i među njima treći, vizuelni. Ovo je glasovit astrograf, kojim je otkriveno mnogo planetoida; on ima dva fotografska dalekozora zato, da se pomoću dviju fotografija istoga objekta utvrdi, ne svodi li se sitni trag jednog planetoida (Sl. 86) na slučajnu pogrešku fotografske ploče.

Prva zvijezda, koja je fotografirana, bila je Vega (α Lire), i to već 1850.; izum fotografije broji se od 1839., kada je fizičar Arago saopćio u

TABLICA SPEKTARA



1. Neprekidni spektar (emisioni spektar krutog ili tekućeg izvora svjetlosti).
2. Sunčev spektar sa glavnim Fraunhoferovim linijama, koje pripadaju elementima vodiku, natriju, željezu, kalciju.
3. Linijski emisioni spektar natrija.
4. Linijski emisioni spektar vodika.
5. Spektar zvijezde stajačice Harvard-tipa A (Vega u zviježđu Lire); tamne apsorpcione linije vodika vrlo jake, metalne linije slabije nego u Sunčevu spektru.
6. Dvije karakteristične zelene linije u spektru planetarnih maglica (»linije nebuliuma«).

Pariskoj akademiji znanosti taj epohalni izum J. N. Niepcea i L. J. Daguerra. I Sunce i Mjesec su ubrzo poslije toga fotografirani. Razvitak fotografije neba osobito je bio potaknut odličnim fotografijama neba braće Henry u Parizu 1885., izvedenim prvim dvostrukim fotografskim refraktorom, koji su sami konstruirali. Internacionalni astronomski kongres 1887. zaključio je na osnovi toga, da se organizira fotografiranje cijeloga neba saradnjom brojnih zvjezdarna.

FOTOMETRIJA. Prosti pogled na zvjezdano nebo pokazuje nam, da zvijezde nijesu jednako svijetle.

Već su astronomi staroga vijeka prije Ptolemeja razvrstali po svjetloći zvijezde, koje se vide prostim okom, na *6 veličina,* tako da su najsvjetlije zvijezde *prve veličine,* a najslabije, koje još vidi normalno oko, *šeste veličine.* »*Veličina*« ovdje dakako znači samo jačinu sjaja zvijezde (njenu *svjetloću*), kako se nama pričinja, a nipošto veličinu u geometrijskom smislu.

Ta klasifikacija zvijezda po prividnoj svjetloći prihvaćena je i proširena u novijoj astronomiji.

Velik broj zvijezda stajačica (promjenljive zvijezde) mijenja svjetloću, često i vrlo pravilno. Te su promjene svjetloće katkad tako velike, da se veličina zvijezde promijeni za nekoliko jedinica, katkad opet su male. Iz svjetloće možemo više toga saznati ó stanju, u kom se zvijezda nalazi. Kod tijela u Sunčevu sustavu po jačini Sunčeve svjetlosti, koja, odbivši se od jednog tamnog tijela, dopire do nas, možemo zaključiti i nešto o prirodi površine tog tijela. Ova i druga pitanja stvorila su potrebu, da se izrade i primijene u astronomiji brojne metode za mjerenje svjetloće nebeskih tijela.

Nauka o mjerenju jačine svjetlosti zove se *fotometrija,* sprava za mjerenje jačine svjetlosti *fotometar.*

Određivanje prividne svjetloće ili veličine zvijezda samim okom *(vizuelna fotometrija)* osniva se na tom, da se zvijezda, kojoj se ima odrediti veličina, uporedi sa zvijezdama svjetlijim i manje svijetlim od nje, a kojima je veličina već utvrđena. Ova metoda, koja kod izvježbanih motritelja može dati vrlo dobre podatke, upotrebljava se i dandanas.

Pored vizuelne metode primjenjuje se danas *fotografska fotometrija.* Kad se fotografira zvjezdano nebo, onda u jednakom vremenu ekspozicije od svjetlije zvijezde nastane na fotografskoj ploči pjega i tamnija i većega promjera. Veličina pojedinih zvijezda može se odrediti i mjerenjem promjera tamnih pjega i utvrđivanjem stupnja crnoće pjega na fotografskoj ploči na osnovi uporedbe sa jednom skalom stupnjeva crnoće.

— Kad se *fotometrima* uporeduju svjetloće dvaju nebeskih tijela, onda se postupa tako, da se svjetlost svjetlijeg umjetno oslabi dotle, dok se u fotometru prikažu oba jednako svijetla. Umjetno slabljenje svjetlosti izvrši se tako, da se pri tom uzmogne što točnije izmjeriti, za koliko se svjetlost oslabila. Prema načinu, kako se to postizava, razlikuju se pojedini tipovi fotometara. Kod nekih se fotometara svjetloća jedne zvijezde na nebu upoređuje sa svjetloćom umjetnog izvora svjetlosti (»umjetne zvijezde«).

Prvi znatniji fotometar konstruirao je Zöllner 1860. Za točnija ispitivanja svjetlosti i žarenja nebeskih tijela upotrebljava savremena astrofizika vrlo osjetljive instrumente. Tako je S. P. Langley uveo 1880. *bolometar*. Kod tog je instrumenta u krug struje uklopljen počađeni komad platinene žice; kad svjetlost određene jačine padne na taj počađeni komad, mijenja on otpor stalnoj struji, koja krugom protječe. Time se mijenja jačina struje, pa te promjene mjerimo galvanometrom i odatle zaključujemo na jačinu svjetlosti.

Iz fizike je preuzet *termoelement* (Seebeck 1821.) osobito za mjerenja u Sunčevu sustavu. On se sastoji od dva komada različitih kovina (najobičnije bismut i antimon) zataljenih na jednom kraju zajedno. Ako to mjesto izložimo svjetlosti, javlja se slaba struja — termostruja —, koju možemo mjeriti i odatle opet zaključiti na jačinu svjetlosti.

U 20. stoljeću kao najvažniji su takovi instrumenti uvedene selemova i fotoelektrična stanica. *Selenovu stanicu* uveo je J. Stebbins 1912. U njoj je komad selena uklopljen u krug stalne struje. Izložimo li ga svjetlosti, to će mu se umanjiti električni otpor, pa opet možemo kao kod bolometra mjerenjem električne struje naći jačinu svjetlosti.

Još osjetljiviji instrument je *fotoelektrična stanica* (J. Stebbins i P. Guthnick 1920.). Ova se stanica osniva na svojstvu alkaličnih kovina (kalija, natrija, cezija, rubidija), da iz njih izbija negativni elektricitet, ako ih osvijetlimo. Mjerenjem te struje negativnog elektriciteta, koje jačina raste sa jačinom svjetlosti, možemo velikom točnošću izmjeriti i vrlo slabu svjetlost i vrlo male promjene jačine svjetlosti.

SPEKTROSKOPIJA. Kako je sve, što dopire od zvijezda do nas, u njihovoj svjetlosti, to je ispitivanje svjetlosti u sve tančine njenog sastava za astronomiju najvažniji izvor saznanja. Jedno osnovno svojstvo svake svjetlosti je boja. Boje svjetlosti ili su *jednostavne*, t. j. ne mogu se rastaviti na više boja, ili su *smjese* od više jednostavnih boja. Fizika je utvrdila, da — kao što svakom jednostavnom muzičkom tonu pripada određeni broj titraja, što ih izvor tona izvrši u 1 sekundi — tako i svakoj jednostavnoj boji pripada određeni broj titraja, samo što tu brojevi titraja iznose bilijune u 1 sekundi.

Prirodna svjetlost, koja nam dolazi bilo od nebeskih, bilo od zemaljskih tijela, koja svijetle, uvijek je smjesa od manje ili više boja. Od kojih je boja jedna svjetlost sastavljena, može se ispitati pomoću *spektra te svjetlosti*.

U spektru jedne svjetlosti nanizane su jedna uz drugu boje, od kojih se ta svjetlost sastoji. Taj niz boja dobijemo, ako bilo kojim načinom (na pr. staklenom prizmom) odvojimo jednu od druge zrake različite boje, tako da svaka boja napose osvijetli jednu plohu (redovno sliku osvijetljene uske pukotine; ta je slika uska pruga, »linija«).

Bijela svjetlost je smjesa svih boja, koje uopće postoje; one se mogu svrstati u šest glavnih boja, nanizanih u spektru ovim redom: crvena, narančasta, žuta, zelena, plava, ljubičasta. (Vidi tablicu spektara 1).

Svestrano ispitivanje spektara pokazalo je, da valja poprije razlikovati *emisione* spektre od *apsorpcionih*.

Emisioni[1] spektar daje svjetlost, kad dolazi neposredno od izvora svjetlosti (na pr. usijanog tijela), ne prošavši kroz druge tvari.

Emisionih spektara imamo dvije glavne vrste:

a) *neprekidni spektar*, ako je niz boja u njemu neprekinut, tako da jedna boja prelazi u drugu (tabl. spekt. 1.). Takav je spektar bijele svjetlosti, koja dolazi na pr. od niti električne žarulje, usijane do bjeline. Utvrđeno je, da neprekidni spektar daje ona svjetlost, koju ižaruje usijano *kruto* ili *tekuće* tijelo (ili plin pod vrlo velikim tlakom);

b) *linijski spektar* (tabl. spekt. 3, 4), ako se spektar sastoji od pojedinih, tamnim prostorom odvojenih, razno obojenih linija. Linijski spektar daje samo ona svjetlost, koju ižaruju usijana *plinovita tijela.*

Utvrđeno je, da *svakom kemijskom elementu, kad u plinovitom stanju ižaruje svjetlost, pripada za njega karakteristični linijski spektar,* po kojem se on može sa sigurnošću razlikovati od drugih kemijskih elemenata. Ako svjetlost ižaruje *smjesa plinova,* onda spektar sadržava linijske spektre svih elemenata, od kojih se smjesa sastoji. Stoga je moguće ispitivanjem spektra, koji ižaruje jedno plinovito tijelo, saznati od kojih se elemenata ono sastoji *(spektralna analiza).*

Mjesto, na kojem stoji jedna spektralna linija u spektru, utvrđuje se *mjerenjem.* Same linije se mogu karakterizirati i brojem titraja svjetlosti, koja im pripada, ili »dužinom vala«, koji nastaje širenjem svjetlosti toga broja titraja.

---

[1] Emisija (od lat. emissio) = izbacivanje, ižarivanje.

Apsorpcioni[1] *spektar* nastaje, ako svjetlost, koju ižaruje jedno tekuće ili kruto tijelo i koja bi dala neprekidni spektar, prolazi kroz materiju, koja pojedine vrste svjetlosti guta. U svjetlosti, koja je prošla kroz tu materiju, onih vrsta svjetlosti, koje su progutane ili ne će biti, ili će biti oslabljene. U spektru takve svjetlosti pojavit će se stoga *tamne pruge* (tabl. spek. 2,5).

Koje će to pruge biti kod pojedine materije, koje će vrste svjetlosti iščeznuti u apsorpcionom spektru, to nas uči važan zakon fizike, *Kirchhoffov zakon.* Ovaj zakon veli:

Moć ižarivanja jednog tijela za svjetlost jedne boje razmjerna je njegovoj moći apsorpcije za istu boju kod iste temperature.

Iz ovoga zakona slijedi, da će jedna materija progutati od svjetlosti, koja kroz nju prolazi, baš one boje, koje bi ona sama ižarivala. Ako je materija usijani plin, koji, kako znamo, ižaruje linijski spektar, onda će u apsorpcionom spektru svjetlosti, koja je prošla kroz taj usijani plin, manjkati baš linije emisionog spektra dotičnog plina, t. j. u apsorpcionom spektru vidjet ćemo na odnosnim mjestima *tamne linije.*

Prema tome *spektralna analiza* može iz apsorpcionih spektara raspoznati, od kojih se kemijskih elemenata sastoji plin, kojim je prošla svjetlost.

Spektar i temperatura. Svagda nas iskustvo uči, da se jedno tijelo mora ugrijati do prilično visoke temperature, dok počne ižarivati svjetlost. Kod najniže temperature, kod koje tijelo uopće ižaruje svjetlost (oko 500° C), ižarena je svjetlost crvena, kod više temperature postane žuta, a napokon (oko 1600° C) bijela. Mi vidimo dakle, da bismo *iz boje ižarene svjetlosti mogli zaključiti, kolika je temperatura tijela,* koje je ižaruje. Da upoznamo točno boje, koje tijelo ižaruje, moramo, kako već znamo, proučiti spektar ižarene svjetlosti. Mi ćemo onda vidjeti, da se kod 500° C razvio samo crveni kraj spektra, a što više tijelo grijemo, to se više pridružuju ostale boje spektra, pa se kod 1600° C već razvije cijeli spektar i svjetlost je bijela.

I kod temperatura viših od 1600° C ižarena je svjetlost bijela. Ako bismo htjeli raspoznati po spektru još više temperature nego 1600° C, morali bismo spektar podrobnije ispitivati u pogledu jačine (energije), koju ima svjetlost u pojedinim dijelovima spektra. Takvim se istraživanjima našlo, da je mjesto

[1] Apsorpcija od lat. absorptio = gutanje.

najveće energije u spektru to bliže ljubičastom kraju spektra, što je viša temperatura onoga tijela, koje svjetlost ižaruje.

Dopplerov efekt. Na linijama linijskih emisionih i apsorpcionih spektara svjetlosti, koja nam dolazi od nebeskih tijela, vidi se često, da se one u svom rasporedu doduše podudaraju sa linijama poznatih kemijskih elemenata, ali da su malo pomaknute prema crvenom ili prema ljubičastom kraju spektra. Ove je pomake fizika rastumačila pomoću t. zv. *Dopplerova principa* kao učinak brzine onoga gibanja tih nebeskih tijela, koje ona imaju u pravcu gledanja.

Znamo, da je mjesto pojedine spektralne linije u spektru određeno brojem titraja, koji pripada svjetlosti odnosne boje. Pomak tih spektralnih linija, koji nastaje, ako se izvor svjetlosti giba, pokazuje, da je u primljenoj svjetlosti promijenjen *broj titraja.*

Slična se pojava može često zapaziti kod zvuka. Stoji li motritelj pokraj pruge, a približava mu se lokomotiva, koja zviždaljkom daje znak, čut će motritelj do časa, kad lokomotiva stigne do njega, viši ton nego što bi čuo od lokomotive, koja stoji. Kad se zatim lokomotiva, prošavši kraj njega, udaljuje, čuje niži ton. Neka je brzina lokomotive 20 metara po sekundi, te neka je udaljenost lokomotive od motritelja u jednom trenutku upravo 333 m, dakle jednaka putu, što ga zvuk pređe u 1 sekundi. Kad prođe od tog trenutka 1 sekunda, nalazi se lokomotiva od motritelja 333—20=313 m daleko. Broj titraja u sekundi, koji određuje visinu tona zviždaljke, neka je 500. Kad bi lokomotiva mirovala relativno prema motritelju, čuo bi on zvuk, koji pripada broju titraja 500. Ako se lokomotiva približava, smanjuje se tokom razmatrane sekunde udaljenost između lokomotive i motritelja, te svih 500 titraja neće više trebati čitavu sekundu, da stignu do motritelja, jer prvi titraj na početku sekunde treba da pređe čitavih 333 m, dok posljednji titraj na kraju sekunde pređe samo 313 m. Kako motritelj primi svih 500 titraja u vremenu manjem od jedne sekunde, to će u cijeloj sekundi primiti više od 500 titraja, pa će broj primljenih titraja biti povećan u omjeru udaljenosti na početku i kraju sekunde 333 : 313, t. j. ton zviždaljke imat će za motritelja broj titraja $\frac{333}{313} \cdot 500 = 532$. Kad se lokomotiva udaljuje od motritelja, titraj na kraju jedne sekunde pređe put za 20 m veći nego li titraj na početku te sekunde. Sada će svih 500 titraja biti primljeno u vremenu duljem od 1 sekunde, a u 1 sekundi bit

će prema tome broj titraja manji od 500, t. j. $\frac{333}{333+20} \cdot 500 = 472$.

Prema tome povišenje odn. sniženje tona u slučaju relativnog gibanja izvora zvuka prema motritelju stoji do brzine širenja zvuka c i relativne brzine izvora zvuka prema motritelju v. Prema našem primjeru je promijenjeni broj titraja kod približavanja

$$n' = \frac{c}{c-v} \cdot n$$

kod udaljivanja

$$n'' = \frac{c}{c+v} \cdot n$$

gdje je n broj titraja izvora zvuka.

To zaključivanje vrijedi za svako valovito gibanje, dakle i za svjetlost, samo što tu dolaze bilijuni titraja u 1 sekundi, a i najveće brzine gibanja izvora svjetlosti još su male prema brzini same svjetlosti. Ljubičastom kraju spektra odgovaraju veći titrajni brojevi, crvenom kraju spektra manji titrajni brojevi. Dakle pomak spektralne linije prema ljubičastom kraju spektra znači, da se izvor svjetlosti nama približava, pomak prema crvenom kraju, da se od nas udaljuje u pravcu gledanja. Na osnovi veličine pomaka spektralnih linija (»Dopplerov efekt«), može se izračunati i brzina dotičnih gibanja do točnosti od 1—2 km u sekundi (za svemirske prilike, gdje brzine iznose i nekoliko stotina kilometara u sekundi, prilična točnost).

Na ovu je pojavu prvi upozorio Chr. Doppler 1842., pa je po njemu prozvana »Dopplerov efekt«. Postupak izračunavanja brzine iz promjene titrajnih brojeva (Fizeau 1848.) označuje se kao »Dopplerov princip«. Eksperimentalno je Dopplerov efekt kod zvuka ispitao Fizeau 1848., a kod svjetlosti A. Bjelopoljski 1900.

Spektri nebeskih tijela proučavaju se na dva načina, *vizuelno* ili *fotografski*.

Sprava za vizuelno proučavanje spektra zove se *spektroskop*. Spektroskop se kod dalekozora pričvrsti na okularnom kraju mjesto okulara. Spektroskop se sastoji u bitnom od uske pukotine, koja se osvjetljuje onom realnom slikom, koju od nebeskog tijela stvara objektiv dalekozora; svjetlost od osvijetljene pukotine ide kroz jednu prizmu (ili sistem od više prizmi), a nastali spektar gleda se malim dalekozorom.

Astronomski dalekozor uređen za fotografiranje spektara zove se *spektrograf*. Na fotografijama spektara dakako nema boja, ali se položaji i pomaci spektralnih linija mogu na fotografiji vrlo točno utvrditi mjerenjem.

Tablica spektara nalazi se između stranica 128 i 129.

Od otkrića spektra (Newton 1666.) dugo je godina prošlo, dok je A. Fraunhofer 1814. opisao glavne apsorpcione linije u Sunčevu spektru, koje je prvi vidio W. H. Wollaston 1802. (njih 7). Spektralnu analizu utemeljili su Kirchhoff i Bunsen 1859. Potpuni fotografski atlas Sunčeva spektra, dug 13 m sa 20000 linija, dao je H. A. Rowland 1886.

PRIMJENA NOVIJIH FIZIKALNIH TEORIJA U ASTRONOMIJI. Početkom 20. stoljeća razvijaju se u fizici dvije nove teorije, koje su znatno utjecale na razvoj astrofizike, teorija atoma i teorija relativnosti.

Teorija atoma razvila se s jedne strane na osnovi spektralnih pojava, koje su pokazale, da atom ne može biti nedjeljiva čestica, nego da mora imati strukturu, koja se očituje u pravilnostima spektara. S druge strane su tu složenost atoma očigledno pokazivale pojave radioaktivnosti, kod kojih se jasno pokazalo raspadanje atoma na još jednostavnije dijelove. U kratkom razdoblju od nekoliko decenija otkriveno je neumornim radom fizičara čitavog svijeta toliko novih činjenica, da se na osnovi njih izgradila posebna grana fizike, atomska fizika.

Prirodno raspadanje atoma radioaktivnih elemenata ubrzo je nadopunjeno umjetnim razbijanjem atoma savremenim fizikalnim sredstvima. Moguće je čak umjetnim načinom iz jednostavnije građenih atoma izgraditi nove, složenije atome i tako povećati broj iz prirode poznatih elemenata novim, umjetnim elementima. Kod svih tih procesa pretvorbe elemenata, kod razgrađivanja i građenja atoma, oslobađaju se ogromne količine energije, koje daleko nadmašuju sve dotada poznate izvore energije. Ovi su procesi od odlučnog značenja za teoriju o građi i razvitku nebeskih tijela i za kosmogoniju.

Odlučne prekretnice u razvoju teorije atoma bile su Planckov zakon zračenja (1900.) i Bohrova teorija atoma (1913.).

Teorija relativnosti razvila se iz problema širenja svjetlosti, ako se izvor svjetlosti giba (Michelsonov pokus 1881.), ali je već u svojem prvom, specijalnom obliku (Einstein 1905.) prešla taj uski okvir. Po teoriji relativnosti ne može se ni iz jedne fizikalne pojave ustanoviti neko »apsolutno« gibanje, nego samo relativno gibanje jednog tijela prema drugima. Na osnovi

toga izlazi brzina svjetlosti kao najveća moguća brzina gibanja u svemiru, koja se nikakovim sastavljanjem brzina ne može premašiti. Pri tome se specijalna teorija relativnosti ograničila na jednolika pravocrtna gibanja.

Još dalje je zahvatila opća teorija relativnosti (Einstein 1914.), koja je obuhvatila i sva ubrzana gibanja, dovela do nove teorije gravitacije, koja Newtonovu obuhvata kao specijalan slučaj, te utvrdila ekvivalentnost mase i energije. Tako svaka energija (na pr. energija zrakâ svjetlosti) djeluje i kao masa, te pokazuje inerciju i podliježe djelovanju gravitacije. Time je opća teorija relativnosti dovela do niza novih tvrdnja i činjenica, od kojih su tri činjenice na dohvatu današnjih sredstava astronomske nauke.

Prvo se mora kod gibanja planeta opaziti sitno pomicanje perihela njegove putanje u smjeru gibanja planeta, koje se ne može objasniti po Newtonovu zakonu gravitacije perturbacijama ostalih poznatih tijela Sunčeva sustava. Jedino kod Merkura dosiže to pomicanje perihela izmjerivi iznos od okruglo 40″ u stotinu godina. To je pomicanje, otprilike u tom iznosu, poznavao već Leverrier, ali ga je uzalud kušao protumačiti na osnovi Newtonove mehanike tražeći intramerkurijalni planet, koji bi se gibao između Sunca i Merkura, a svojim bi perturbacijama izvodio pomicanje Merkurova perihela. Po općoj teoriji relativnosti to je pomicanje kvantitativno objašnjeno.

Drugo je Einstein zaključio, da se zraka svjetlosti mora u blizini velikih masa, kao što je na pr. Sunce, vidljivo svinuti, otkloniti od svog pravocrtnog smjera, jer na nju djeluje gravitacija Sunca. Da se ispita ovaj efekt, koji je teorija relativnosti predskazala, mjerili su astronomi pomnjivo prividni položaj zvijezda u neposrednoj blizini Sunčeva ruba, kad su bile vidljive za vrijeme potpune pomrčine Sunca. Opažanja su (1922.) potvrdila teoriju, po kojoj se morao opaziti prividni pomak mjesta zvijezda za 1,8″. Kako se taj iznos nalazi blizu granice točnosti samih opažanja, ponavljaju se ta mjerenja kod slijedećih pogodnih pomrčina.

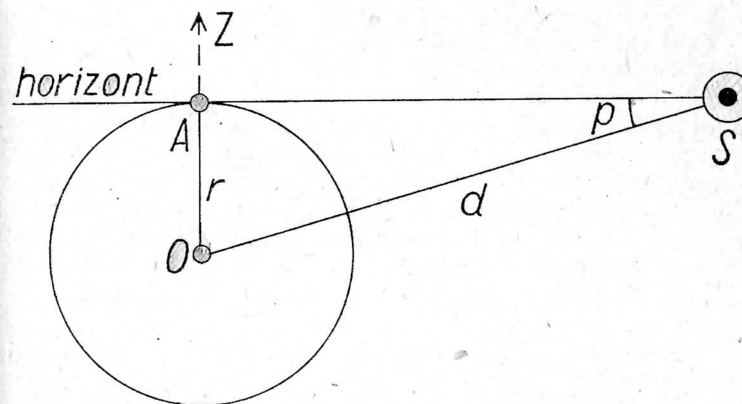
Treće se mora u linijama spektara zvijezda znatnijih masa pokazati pomak prema crvenom kraju spektra, koji nije uzrokovan Dopplerovim efektom, nego djelovanjem jakog gravitacionog polja. No vrlo je teško kod nebeskih tijela razdijeliti ta dva efekta, Dopplerov i relativistički pomak prema crvenom kraju. Ipak su opažanja bar kvalitativno potvrdila taj rezultat teorije relativnosti.

2. SUNCE

UDALJENOST SUNCA, HORIZONTALNA PARALAKSA. Sunce kao centralno tijelo svojom golemom masom i gravitacijom veže uza se sva tijela svoga sustava i upravlja njihovim gibanjem; kao glavni izvor topline i svjetlosti Sunce je osnova svega života i razvitka na Zemlji; Sunce je jedina zvijezda stajačica, koja je u bližem nam svemiru. Iz ovih je razloga Sunce predmet stalnog i pomnjivog istraživanja, pa je primjena svih pomagala i metoda rada astronomije iznijela vremenom veliko obilje podataka o Suncu.

Pravu veličinu Sunca i svih pojedinosti, koje na njemu vidimo, možemo iz njihovih prividnih veličina naći samo onda, ako znamo *udaljenost Sunca od Zemlje*. Udaljenost Sunca od Zemlje je uz to ne samo osnovna jedinica za sva mjerenja unutar Sunčeva sustava, nego je ta udaljenost osnovna jedinica i za daljine zvijezda stajačica u dalekom svemiru. Stoga su određivanju te udaljenosti astronomi obratili osobitu pažnju, pa se i danas iskorišćuju sve mogućnosti, da se ona što točnije odredi.

Udaljenost Sunca od Zemlje možemo izračunati iz *horizontalne paralakse Sunca*.



Sl. 74

Tijelo u Sunčevu sustavu, koje od Zemlje nije tako udaljeno kao zvijezde stajačice, vidjeli bismo na nebu u drugom smjeru, kad bismo ga gledali iz središta Zemlje, nego što ga vidimo iz točke na površini Zemlje. Ako iz točke A na površini

Zemlje gledamo nebesko tijelo S, koje se nalazi u samom horizontu (Sl. 74.), onda to tijelo vidimo u horizontalnom smjeru AS. Kad bismo to tijelo u istom času gledali iz središta Zemlje O, vidjeli bismo ga u smjeru OS, koji sa AS tvori kut p. To je ujedno kut, pod kojim bismo sa tijela S vidjeli polumjer Zemlje. U tom položaju vidimo nebesko tijelo u smjeru okomitom na polumjeru Zemlje AO.

Kut p, pod kojim bi se polumjer Zemlje vidio sa nebeskog tijela, koje stoji u smjeru okomitom na taj polumjer u horizontu, zove se horizontalna paralaksa toga tijela.

Ako je poznata horizontalna paralaksa p i polumjer Zemlje r, onda se iz pravokutnog trokuta AOS slike 74. može izračunati trigonometrijski udaljenost d nebeskog tijela od središta Zemlje, te je

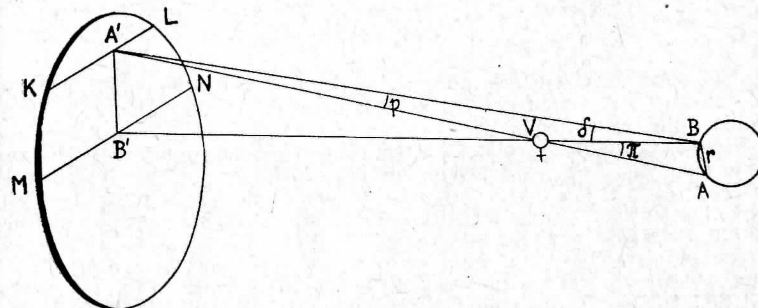
$$d = \frac{r}{\sin p}.$$

Paralaksa Sunca je premalena, a prividna ploha, koju Sunčev lik zaprema na nebu, prevelika, a da bi neposredno određivanje horizontalne paralakse Sunca dalo dovoljno točne rezultate. Međutim nije ni potrebno tu metodu primijeniti neposredno na Sunce. Po trećem Keplerovu zakonu (vidi III. 7.) možemo pomoću sideričnih ophodnih vremena izračunati udaljenost svih planeta od Sunca, ako znamo udaljenost od Sunca *jednog* planeta. Prema tome možemo pomoću trećeg Keplerova zakona izračunati i udaljenost Zemlje od Sunca, ako odredimo udaljenost bilo kojeg planeta od Sunca. Za tu se svrhu određuje paralaksa jednog planeta i tim njegova udaljenost od Zemlje. Udaljenost planeta od Zemlje daje nam razliku njihovih udaljenosti od Sunca, a treći Keplerov zakon omjer tih udaljenosti, pa se mogu tako izračunati obje udaljenosti. Osobito povoljne okolnosti za određivanje paralakse daju planetoidi, od kojih se neki vrlo približe Zemlji.

Važan način određivanja paralakse Sunca u prošlom stoljeću bili su *prolazi Venere* pred Suncem. Radi nagiba Venerine putanje prema ekliptici (3,5°) Venera u donjoj konjunkciji redovno nije u ravnini ekliptike. Ako pak Venera dođe u donju konjunkciju u času, kad je ona u čvoru svoje putanje (vidi gl. IV. 3 i sl. 83), onda će Sunce, Venera i Zemlja biti u istom pravcu, a Venera će za motritelja na Zemlji proći pred Suncem s istoka na zapad. Kod takvog se prolaza pred Suncem Venera stvarno vidi kao mala okrugla crna pjega, koja prelazi preko Sunčeve ploče uzduž jedne tetive. Položaj čvora Venerine putanje je takav, da prolaz Venere može biti samo u mjesecima junu i decembru, i to svake 243 godine dva

puta po dva prolaza, tako da je između dva prolaza razmak od 8 godina, onda prođe više od sto godina, pa slijede opet dva prolaza sa razmakom od 8 godina. Posljednji su prolazi Venere pred Suncem bili 8. XII. 1874. i 6. XII. 1882., a slijedeći će biti istom 7. VI. 2004. i 5. VI. 2012.

Pomoću prolaza Venere pred Suncem određuje se paralaksa Sunca ovako (slika 75): Sunce je prikazano kao okrugla ploča, kako ga vide



Sl. 75.

motritelji na Zemlji. Prolaz Venere V pred Suncem neka gledaju sa Zemlje dva motritelja, jedan iz točke A, drugi iz B, a međusobni razmak tih točaka neka je jednak polumjeru Zemlje r. Za motritelja u A Venera prolazi preko Sunčeve ploče po tetivi KL, za motritelja u B po tetivi MN paralelnoj sa KL. Razmak tih dviju tetiva na Suncu d = A'B' vidi motritelj na Zemlji na pr. iz B pod kutom δ. Istu dužinu d vidio bi motritelj na Veneri pod onim istim kutom π, pod kojim vidi i dužinu AB jednaku Zemljinom polumjeru r, π je dakle paralaksa Venere. Paralaksa Sunca je kut p pri vrhu A', pod kojim bi motritelj sa Sunca vidio polumjer Zemlje r = AB. Pretpostavimo sada, da nam je uspjelo kod prolaza Venere izmjeriti kut δ, pod kojim bi se vidio razmak tetiva d. Onda iz trokuta A'BV dobijemo razmjer

$$\sin p : \sin \delta = BV : A'V$$

po sinusovu poučku; no kako su p i δ vrlo mali kutovi, odnose se sinusi kao kutovi sami, te imamo

$$p : \delta = BV : A'V.$$

Sad se odnosi BV prema A'V kao udaljenost Venera-Zemlja prema udaljenosti Venera-Sunce. Srednja je udaljenost Venere od Sunca 0,723 Zemljine udaljenosti od Sunca (što znamo po trećem Keplerovu zakonu) i prema tome je $BV = 1 - 0{,}723 = \frac{1000-723}{1000} = \frac{277}{1000}$. Dakle imamo $BV : A'V = 277 : 723$ ili $p : \delta = 277 : 723$, prema tome

$$p = \frac{277}{723}\,\delta$$

Ako dakle znademo kut δ, možemo jednostavnim računom odrediti paralaksu Sunca p. Stvarno se kut δ ne može direktno mjeriti, jer svaki motritelj na Zemlji vidi samo prolaz na jednoj tetivi. Međutim se kutni

razmak tetiva δ može dobiti računom, ako se odrede vremena, koliko je trajao prolaz Venere jednom i drugom tetivom. Motritelji u A i B moraju dakle što točnije odrediti momente, kada je tamna pjega Venere dotakne Sunčeve svijetle ploče kod K odn. kod M, te kada se kod L odn. N opet odvaja od te ploče. Kut δ iznosi, ako je AB = r polumjer Zemlje, okruglo 23″, pa je prema tome paralaksa Sunca

$$p = \frac{277}{723} \cdot 23'' = 8{,}8''$$

Ako AB nije jednako polumjeru Zemlje, a to redovno i neće biti, onda se kut δ iz vrijednosti za stvarni razmak AB izračunava za razmak jednak polumjeru Zemlje r.

Kad se očekuje prolaz Venere pred Suncem, onda se šalju znanstvene ekspedicije na razne, vrlo udaljene točke Zemlje, da odanle motre prolaz. Prolaz traje i više od četiri sata, dok je razlika u zapaženim vremenima prolaza znala iznositi i pola sata. Prvi put su tom metodom radili 6. VI. 1761., nakon što je na tu pojavu upozorio E. Halley 1677. No teškoće opažanja su tolike, da ova metoda danas više nije dovoljno točna. Pogotovo su netočni podaci kod mnogo češćih prolaza Merkura pred Suncem, pa se oni i ne upotrebljavaju za određivanje paralakse.

Napori i materijalne žrtve, koje traže daleka putovanja radi motrenja prolaza Venere sa udaljenih točaka Zemlje, vrlo su veliki, a rezultati ugroženi uz razne druge poteškoće i mogućnošću, da je u vrijeme prolaza Venere Sunce zastrto oblacima. Jedinstvena je u tom pogledu sudbina francuskog astronoma Le Gentila, koji je, da gleda prolaz Venere god. 1761., otputovao već 1759. u Pondichéry u Indiji, ali je uslijed političkih događaja stigao na mjesto opažanja prekasno. Ostao je onda 8 godina u Pondichéryu, da sačeka slijedeći prolaz 1769. i tada su mu oblaci zastrli Sunce!

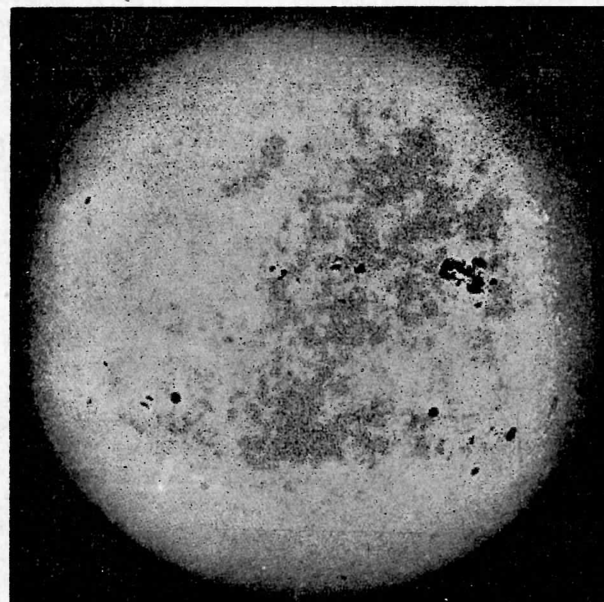
Za horizontalnu paralaksu Sunca prihvaćena je danas vrijednost p = 8,8″. Iz nje se izvodi za srednju udaljenost Sunca od Zemlje vrijednost *149 500 000 km (okruglo 150 milijuna km)* i ta se vrijednost često označuje kao *»astronomska jedinica dužine«*. Polumjer Zemlje, koji iznosi 6370 km, vidio bi se dakle sa Sunca pod kutom od 8,8″, a pod istim kutom vidjela bi se dužina od 6370 km na Suncu sa Zemlje. Prema tome dužina na Suncu, koju mi vidimo pod kutom od 1″, iznosi u stvari 725 km, a to, otprilike $^1/_9$ Zemljinog polumjera, je i veličina najmanjih predmeta, koje još možemo raspoznati na Suncu i najboljim dalekozorima.

Udaljenost Sunca od Zemlje prvi je pokušao izračunati Aristarh oko god. 270. pr. n. e. Metoda horizontalne paralakse primijenjena je prvi put prigodom opozicije planeta Marsa 1672. Planetoid Eros, koji je osobito podesan za određivanje paralakse Sunca, otkriven je 1898., a paralaksa je mjerena kod njegovih opozicija 1900. i 1931.

VELIČINA, MASA I GUSTOĆA SUNCA. Kad je Zemlja u srednjoj udaljenosti, vidimo promjer Sunca pod kutom od 32′.

Iz ovog prividnog promjera i paralakse Sunca slijedi, da *promjer Sunca iznosi 1 391 000 km (okruglo 1 400 000 km), a polumjer 695 500 km (okruglo 700 000 km) ili 109 Zemljinih polumjera.* Kako je udaljenost Mjeseca od Zemlje 60 Zemljinih polumjera, to bi u unutrašnjosti Sunca, kad bismo Zemlju stavili u središte Sunca, mogao Mjesec kružiti oko nje i još bi od površine Sunca bio udaljen preko ¾ polumjera svoje putanje.

Masa Sunca određena je pomoću trećeg Keplerova zakona i zakona gravitacije, ona iznosi oko *333 000 Zemljinih masa.*



Sl. 76. Fotografija Sunca sa pjegama (Mt. Wilson-zvjezdarna 1917.)

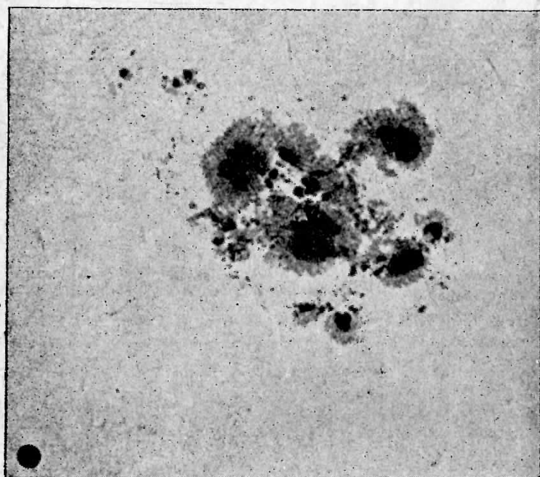
Iz mase i volumena dobijemo *prosječnu gustoću Sunca,* ona iznosi *1,4 ili otprilike ¼ Zemljine gustoće.* Nema sumnje, da je materija u unutrašnjosti Sunca, gdje je pod velikim tlakom, mnogo gušća, dok je atmosfera Sunca mnogo rjeđa.

Teža je na površini Sunca mnogo jača nego na površini Zemlje. Sila, kojom Sunce privlači tijelo, ako se ono nalazi na njegovoj površini, 28 je puta veća od Zemljine teže, a padajući

tijelo bi na Suncu prešlo u prvoj sekundi put od 140 m, dok na Zemlji pređe samo 5 m.

POJAVE NA SUNCU. U dalekozoru (kojemu okular mora radi zaštite oka od prejake svjetlosti imati tamno staklo) vidimo Sunce kao uglavnom jednoliko svijetlu plohu, koja je prema rubu nešto tamnija (Sl. 76.), što odgovara kuglastom obliku. Ta sjajna površina Sunca zove se *fotosfera*. Međutim površina kao da je zrnatog sastava, vide se na njoj zrna prividnog polumjera 1″—3″ (uistinu 700—2000 km), koja se brzo gibaju, nastaju i nestaju. Ta se pojava zove *granulacija površine* (Sl. 76. i 77.).

Baklje su dijelovi Sunčeve površine svjetliji od ostale površine, nepravilno ograničeni, često razvučeni poput žilja, a vide se osobito u blizini Sunčeva ruba (Sl. 76. i 81.).



Sl. 77. Grupa Sunčevih pjega (fotografija Mt. Wilson-zvjezdarne); mali crni krug lijevo dolje predstavlja, radi uporeďenja, veličinu Zemlje.

Najznačajnija pojava na Suncu su Sunčeve *pjege*. Pjege su tamna mjesta na Sunčevoj površini, katkada okrugla, često nepravilna oblika (Sl. 76. i 77.). Znaju biti tako velike, da se vide i prostim okom (tada im je promjer veći od 30 000 km), a viđene su i pjege promjera nekoliko puta većeg od Zemljinog.

Kod znatnog povećanja (Sl. 77.) vidi se, da pjege imaju tamniji unutarnji dio (umbra) i malo svjetliji obrub (penumbra), koji je prugast. Tako su pjege nalik na lijevkasta udubljenja. U susjedstvu pjega vide se baklje. Pjege se ne pojavljuju na cijelom Suncu, nego u pojasima s obje strane Sunčeva ekvatora, koji sežu otprilike od 5⁰ do 35⁰ heliografske[1] širine. Pjege se pojavljuju i pojedinačno i u grupama, održavaju se po koji tjedan, katkada i mjesece. Pjega nema na Suncu uvijek u jednakoj količini i veličini. Utvrđeno je, da se pravilno izmjenjuju razdoblja, gdje je na Suncu mnogo pjega (maksimumi), sa takvim, gdje ih je malo ili nikako (minimumi). Maksimumi i minimumi ponavljaju se u dosta stalnom razmaku, koji iznosi približno 11,1 godine (periodičnost Sunčevih pjega, period 11,1 godine). Čini se, da i druge pojave (baklje, protuberance, korona) na Suncu pokazuju periodičnost sa istim periodom kao pjege, ali ne tako izrazitim.

Kod Sunčevih pjega, koje se dovoljno dugo održavaju, zapaženo je, da se gibaju s lijeva na desno (gledano sa Zemlje[2]) i da se ista pjega, koja je iščezla na desnom rubu Sunca, iza nekog vremena opet pojavljuje na lijevom rubu. Ova pojava očito ukazuje na *rotaciju Sunca*. Po smjeru, u kom se gibaju pjege, vidimo, da rotacija Sunca za motritelja na Suncu ima smisao s desna na lijevo, a to je isti smisao, u kom oko Sunca kruže planeti. Motrenje pjega daje za trajanje jednog okretaja Sunca približno vrijeme od *25 dana*. Os, oko koje se vrti Sunce, ne stoji okomito na ekliptici, pa zato ni Sunčev *ekvator*, koji je okomit na rotacionoj osi, ne pada u ravninu ekliptike, nego čini s njom kut od 7⁰.

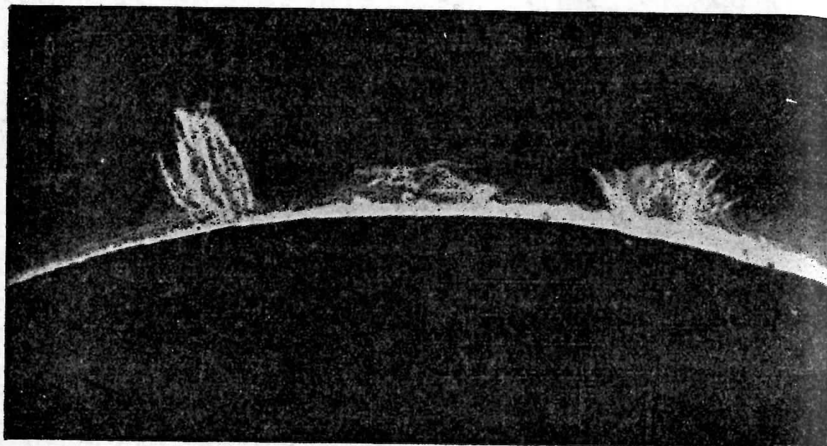
Trajanje rotacije Sunca moglo se odrediti i pomoću Dopplerova efekta. Kad se Sunce vrti oko osi, onda se mase na njegovu istočnom rubu nama približavaju, na zapadnom od nas udaljuju, pa bi prema tome spektralne linije istoga elementa u spektru Sunčeve svjetlosti dobivene s istočnog ruba morale pokazati pomak na ljubičasti kraj, a kod svjetlosti sa zapadnog ruba pomak na crveni kraj. Ovi su pomaci doista utvrđeni i izmjereni. Po njima se dala odrediti obodna brzina, a prema tome i kutna brzina rotacije Sunca u raznim udaljenostima od Sunčeva ekvatora.

Pri tom je nađena značajna činjenica, da kutna brzina, idući od Sunčeva ekvatora prema jednom i drugom polu *opada*, tako da trajanje jednog okretaja, koje na ekvatoru iznosi 25 dana, u heliografskoj širini 45⁰ iznosi već 29 dana. Kod Zemlje, koja je pretežno kruto tijelo, trajanje

[1] Heliografska širina određuje udaljenost točke na Suncu od Sunčeva ekvatora kao geografska širina na Zemlji.

[2] Misli se uvijek motritelj na sjevernoj hemisferi.

jednog okretaja u svim je širinama isto (1 zvjezdani dan), dok se kod Sunca ekvatorske mase vrte brže, a što dalje idemo od ekvatora, to više Sunčeve mase zaostaju. Sunce prema tome ne rotira kao kruto tijelo. Tu je pojavu proučio R. Carrington 1863.; kasnije je pouzdano utvrđena mnogobrojnim motrenjima.



Sl. 78. Hromosfera i protuberance (Lick-zvjezdarna 1900.).

Kad je pri totalnoj pomrčini Sunca zaklonjena glavna svjetlost Sunca, onda se vidi u crvenkastoj boji plašt atmosfere Sunca, koji se zove *hromosfera.*[1] Hromosfera se vidi kao razmjerno tanki sloj (Sl. 78.), koji u stvari ima visinu od 10 000 km, a sastoji se od usijanih plinova. Na pojedinim mjestima hromosfere izbijaju ogromni mlazovi usijanih plinova, *protuberance,* koje prosječno dosižu visine od nekoliko desetica tisuća kilometara, a bilo ih je, koje su došle na visinu preko 500 000 km (Sl. 78. i 79.).

Protuberanca ima zapravo dvije vrste: *eruptivne protuberance,* koje (Sl. 79.) su slične mlazu, koji šikne u vis kao izbačen eksplozijom, i *mirne protuberance,* koje su više nalik na oblak, koji lebdi u visini. Brzine, kojima se dižu eruptivne protuberance, vrlo su velike, dosižu nekoliko stotina kilometara u sekundi. Spektroskopska istraživanja, koja su omogućila proučavanje protuberanca i bez pomrčine Sunca, pokazala su, da se eruptivne protuberance javljaju u blizini pjega, dok mirnih ima po cijelom Suncu.

[1] hroma grč. = boja.

Kod totalne pomrčine Sunca vidi se oko Sunca vijenac bijele, srebrnaste svjetlosti, često zrakasto produžen u pojedinim smjerovima, koji se zove *korona*[1] (Sl. 80.). Pojedine zrake korone znale su se pružiti do daljine jednake 10-erostrukom polumjeru Sunca. Utvrđeno je, da se oblik i veličina korone mijenjaju prema množini Sunčevih pjega.



Sl. 79. Velika eruptivna protuberanca visoka 440 000 km. (Spektroheliografska snimka Yerkes-zvjezdarne 1931.).

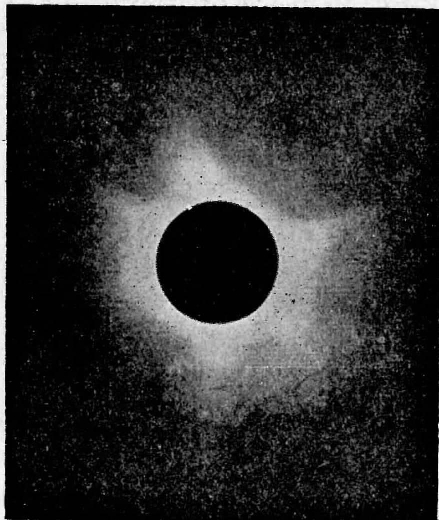
U najnovije se vrijeme vrše uspješni pokušaji, da se korona i protuberance gledaju dalekozorom, i kad Sunce nije pomračeno. Ta se motrenja vrše na visokim opservatorijima, gdje je atmosfera bistra i mirna.

ŽARENJE I TEMPERATURA SUNCA. Golema Sunčeva kuglasta masa ižaruje iz svoje površine (fotosfere) zrake *svje-*

[1] Corona lat. = vijenac.

tlosti i *topline*. Kako je Sunce opkoljeno atmosferom usijanih plinova, žarenje fotosfere dolazi k nama oslabljeno i po sastavu izmijenjeno apsorpcijom u Sunčevoj atmosferi.

Svjetlost Sunca premašuje svojom jačinom i najjače zemaljske izvore svjetlosti; ako jačinu Sunca kao izvora svjetlosti izrazimo onom mjerom, kojom mjerimo zemaljske izvore, normalnom svijećom, izlazi, da Sunce svijetli jačinom od 3.10^{29} svijeća.[1]



Sl. 80. Korona kod totalne pomrčine Sunca god. 1929.

Mjerenje količine energije, koju Sunce ižaruje, vrlo je važno za proučavanje i Sunca i pojava na Zemlji. Kako Zemljina atmosfera guta jedan dio tog žarenja, a taj se dio prema prilikama u atmosferi mijenja, ide se za tim, da se mjerenjem odredi ona količina energije, koja bi od Sunca stigla na površinu Zemlje, kad ne bi bilo zemaljske atmosfere. Tu je količinu uspjelo i odrediti dugim nizovima vrlo pomnjivih i mučnih mjerenja, ona je data t. zv. solarnom konstantom. *Solarna konstanta* je broj gram-kalorija,[2] koje bi 1 cm² Zemljine površine primao u 1 minuti od Sunca, kad ne bi bilo atmosfere, a zrake bi upadale okomito na površinu. Solarna konstanta iznosi *1,93 kalorije* (okruglo 2 kalorije).

[1] Broj sa 29 nula uz znamenku 3.

[2] Gram-kalorija je ona količina topline, kojom se 1 gram vode ugrije za 1° C.

Iz solarne konstante možemo zaključiti, kolika je otprilike temperatura fotosfere. Po tome bi tijelo, koje žari kao Sunce, moralo imati temperaturu od kojih 6000° C. Nema sumnje, da je temperatura u unutrašnjosti Sunca mnogo veća, te iznosi vjerojatno desetak milijuna stupnjeva.

SPEKTAR SUNCA. Spektar Sunčeve svjetlosti je neprekidni spektar, u kom se vidi velik broj što jačih, što slabijih *tamnih linija* (tabl. spekt. 2). Ove tamne linije, nazvane po otkrivaču *Fraunhoferove* linije, govore nam, da je spektar Sunčeve svjetlosti, koja dopire do nas, *apsorpcioni spektar*. Sunčeva svjetlost, koja izbija iz fotosfere, ne dolazi neposredno do nas, nego prolazi kroz plinovitu atmosferu Sunca, u kojoj se pojedine vrste svjetlosti apsorbiraju. Neke od apsorpcionih linija u Sunčevoj svjetlosti treba svesti na apsorpciju u zemaljskoj atmosferi, to su *telurne linije*. One se razlikuju od pravih Sunčevih linija u tom, što ne učestvuju u Dopplerovim pomacima linija radi rotacije Sunca, te što im raste jačina, kad se Sunce približava horizontu, pa svjetlost prolazi kroz deblji sloj atmosfere. Pošto se na taj način telurne linije izdvoje, preostali vrlo veliki broj Fraunhoferovih linija pripada kemijskim elementima, od kojih se sastoji Sunčeva atmosfera. Ispitivanje Fraunhoferovih linija i njihova identifikacija sa spektralnim linijama nama poznatih elemenata je ogroman posao, koji još ni danas nije kraju priveden. U atlasu Sunčeva spektra, izrađenom krajem prošlog stoljeća, ima oko 20 000 izmjerenih Fraunhoferovih linija. Po ovim linijama, iako nije identificirana sa zemaljskim niti jedna polovica, uspjelo je utvrditi u Sunčevoj atmosferi više od polovice svih kemijskih elemenata, koje poznajemo na Zemlji.

Ispitivanjem Sunčeva spektra uspjelo je proširiti i naše znanje o zemaljskim elementima. Tako je plin *helij*, poslije vodika najlakši plin, koga na Suncu ima vrlo mnogo, bio više od 25 godina ranije poznat po svom karakterističnom spektru na Suncu, a istom poslije je otkriven na Zemlji.

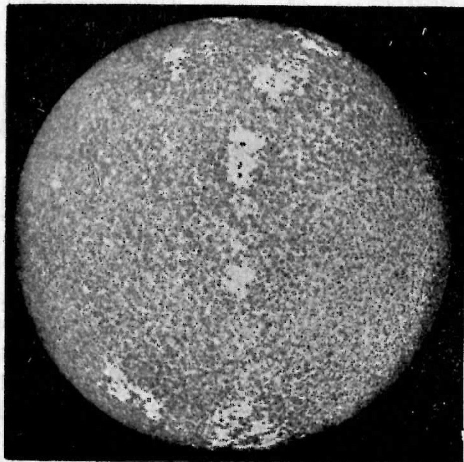
Od najpoznatijih plinovitih zemaljskih elemenata ima u Sunčevoj atmosferi najviše vodika, helija i kisika. Od kovina najjače su zastupane natrij, kalcij, magnezij, željezo, dakako u plinovitom stanju.

Od spektra fotosfere razlikuju se spektri protuberanca i hromosfere. Ovi su spektri emisioni spektri, koji se sastoje od malog broja svijetlih spektralnih linija.

Spektar protuberanca utvrđen je god. 1868. na taj način, da se kod totalne pomrčine Sunca pukotina spektroskopa osvijetlila svjetlošću protuberance. Pokazalo se, da se taj spektar sastoji poglavito od svijetlih emisionih spektralnih linija *vodika*. Prema tome su protuberance upoznate kao ogromni mlazovi usijanog plinovitog vodika.

Uz vodik odao je spektar protuberanca, kad se kasnije više proučavao, i prisutnost helija, pa kalcija, a u rjeđim slučajevima još i drugih kovina.

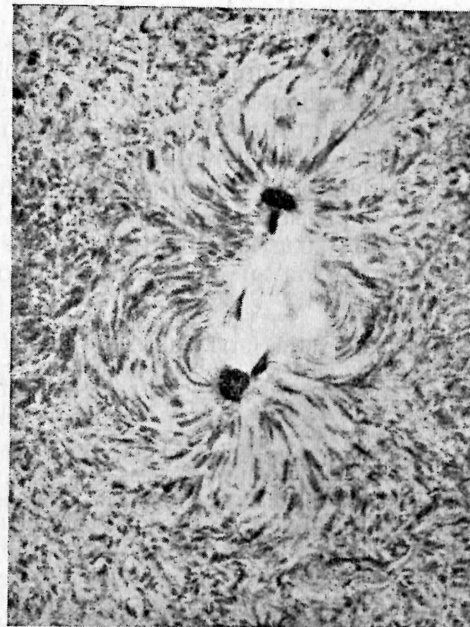
Linijski spektar protuberanca omogućio je, da se protuberance gledaju i fotografiraju i izvan pomrčina Sunca u svjetlosti jedne jedine spektralne linije, naročito crvene vodikove linije (tabl spekt. 4), te kalcijevih linija, koje su najsvjetlije.



Sl. 81. Fotografija Sunca u svjetlosti kalcijeve spektralne linije.

Spektar viših slojeva hromosfere podudara se uglavnom sa spektrom protuberanca. Što niže slojeve hromosfere ispitujemo u pogledu spektra, to više spektralnih linija vidimo. Najniži sloj hromosfere, koji će imati debljinu kojih 500 km (prividnu debljinu dakle manju od 1''), pokazuje osobito obilje emisionih linija i čini se, da apsorpcijom baš u tom sloju nastaju Fraunhoferove linije fotosferskog spektra. Taj najniži sloj nazvan je *slojem obrata,* jer se u njemu »obrnu« svijetle emisione linije u tamne apsorpcione. Emisioni spektar toga sloja može se vidjeti i fotografirati samo kod totalne pomrčine Sunca, i to samo u onom trenutku prije i poslije totalne pomrčine, kad je Mjesec zastro upravo svu fotosferu Sunca, a nije zastro ovaj uski najdonji sloj hromosfere.

Spektar *korone* Sunca sastoji se od slabog neprekidnog spektra, u kojemu ima niz svijetlih spektralnih linija. Neprekidni spektar korone u njenim višim slojevima pokazuje tragove Sunčevih Fraunhoferovih linija, pa bi se moglo zaključiti, da tu vidimo Sunčevu svjetlost odbijenu od nekih čestica, koje lebde oko Sunca. O porijeklu emisionih spektralnih linija korone mnogo se raspravlja. Čini se, da te linije potječu od poznatih zemaljskih elemenata, koji se ovdje u krajnje razrijeđenoj atmosferi nalaze u nenormalnom stanju, te emitiraju svjetlost, kakvu ne emitiraju u zemaljskim prilikama.



Sl. 82. Vrtlozi u Sunčevoj atmosferi, spektroheliografska snimka Mt. Wilson-zvjezdarne.

Za razvitak nauke o Suncu bilo je vrlo važno njegovo proučavanje pomoću *spektroheliografa*, koji služi fotografiranju i cijelog Sunca i pojedinih dijelova i pojava u svjetlosti jedne jedine spektralne linije. To postizavamo time, da u spektrografu dodamo još jednu pukotinu. Njom izlučimo iz čitavog spektra baš onu izabranu spektralnu liniju. Ta je linija doduše tamna prema sjajnoj podlozi kontinuiranog spektra fotosfere; ipak i u njoj dolazi k nama svjetlost izvjesnog intenziteta, te pomoću te svjetlosti možemo pomicanjem pukotine dobiti sliku cijelog Sunca.

Fotografija hromosfere (Sl. 81) u svjetlosti jedne kalcijeve linije pokazuje baklje kao ogromne mase usijanog kalcija i sitnije »pahulje« (flocculi) toga elementa. Spektroheliografskim slikama mogla se proučavati razdioba pojedinih elemenata i tlak u raznim visinama Sunčeve atmo-

sfere, napokon i gibanja i strujanja atmosferskih plinova. Tako pokazuje slika 82, snimljena u svjetlosti vodika, da u Sunčevoj atmosferi ima vrtloga. Često je središte ovakvog vrtloga Sunčeva pjega.

Osim toga uspjelo je sredstvima Mt. Wilson-zvjezdarne utvrditi na Suncu i relativistički pomak linija u spektru prema crvenom kraju, iako je vrlo sitan.

Od čega se sastoji i u kakvom je stanju Sunčeva kugla i njena površina, fotosfera, ne možemo utvrditi neposredno motrenjima. Iz nje izbija svjetlost neprekidnog spektra, a takvu svjetlost ižaruju i kruta i tekuća tijela, pa i plinovi, ako su stlačeni do gustoće tekućina.

Za Sunčeve pjege sigurno je to, da nastaju silnim gibanjima na Suncu, zbog kojih provaljuju usijane mase iz unutrašnjosti Sunca. Ekspanzijom tih masa snižava im se temperatura za kojih 1000° C, pa se pjege čine radi toga tamne prema sjajnoj okolini. S njima su u vezi baklje i protuberance. Spektroheliograf pokazao je, da su baklje valjda odozgor gledane protuberance.

Sunčeve pjege vidio je valjda prvi Galilei svojim dalekozorom 1610., a Fabricius i Scheiner 1611. Isprva su mislili, da neki planeti prolaze pred Suncem. Današnje shvaćanje Sunčevih pjega potječe od R. Emdena i K. Schwarzschilda, dok je već A. Wilson 1770. tvrdio, da su pjege udubine u fotosferi.

Protuberance su prvi put opažene kod pomrčine Sunca u julu 1842. Spektroskopsko gledanje protuberanca izvan pomrčina pronašli su istodobno, ali nezavisno J. N. Lockyer i J. Janssen 1868. Spektroheliograf izveli su G. E. Hale u Chicagu 1892. i gotovo istodobno H. Deslandres u Meudonu. Helij su u Sunčevu spektru otkrili 1869. Frankland i Lockyer, a na Zemlji tek 1895. Ramsay.

PREGLED SUNČEVA SUSTAVA. Sunce kao centralno tijelo, sa svima nebeskim tijelima, koja pod utjecajem Sunčeve gravitacije kruže oko njega, sačinjava *Sunčev sustav.*

Sunčev sustav, što ga je poznavao stari i srednji vijek, sastojao se od Sunca, Zemlje, Mjeseca i pet velikih planeta. U glavi III. 8. prikazano je, kako se ovaj stari Sunčev sustav proširio otkrićem triju daljih velikih planeta, Urana, Neptuna i Plutona. Međutim usavršavanje astronomskih opažanja dalekozorom i fotografijom proširilo je Sunčev sustav u tolikoj mjeri, da danas u taj sustav ubrajamo preko jedne i pol tisuće nebeskih tijela, koja pojedinačno poznajemo. Ali po mišljenju današnje astronomske nauke još smo daleko od poznavanja i većeg dijela tijela Sunčeva sustava.

Osim Sunca i devet velikih planeta poznajemo u Sunčevu sustavu ove vrste nebeskih tijela:

Oko Zemlje, Marsa, Jupitera, Saturna, Urana i Neptuna kruže manja tijela, njihovi *sateliti* ili *pratioci (trabanti, mjeseci).* Zemlja ima samo jedan satelit, naš *Mjesec,* a najviše satelita ima Jupiter, koji ih ima jedanaest.

Poglavito u prostoru između Marsove i Jupiterove putanje kruži oko Sunca velik broj *planetoida* ili *asteroida.* To su mala nebeska tijela, kojih se broj iz godine u godinu stalno povećava novim pronalascima.

Po nepravilno raspoređenim putanjama gibaju se oko Sunca *kometi* ili *zvijezde repatice.*

Po isto takvim putanjama gibaju se i mali kruti komadi svemirske materije, koje pojedince kao *meteori,* koje u *meteorskim rojevima.*

3. PLANETI I NJIHOVI SATELITI

PLANETI. U Sunčevu sustavu poznajemo sada 9 *velikih planeta* (vidi tablicu planeta) i preko *1500 malih planeta* ili *planetoida.*

Veliki se planeti dijele po starijem načinu na *donje planete,* koji su Suncu bliži nego Zemlja (Merkur i Venera), *Zemlju* samu i *gornje planete* (Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun i Pluton), koji su od Sunca dalji nego Zemlja.

Druga, novija razdioba osniva se na činjenici, da je razmak između Marsa i Jupitera osobito velik, a ova golema praznina ispunjena putanjama brojnih planetoida. Prema tome se planeti dijele na *unutarnje planete* (Merkur, Venera, Zemlja, Mars), koji su između Sunca i planetoidnog vijenca, i *vanjske planete* (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, Pluton), koji su s one strane planetoidnog vijenca.

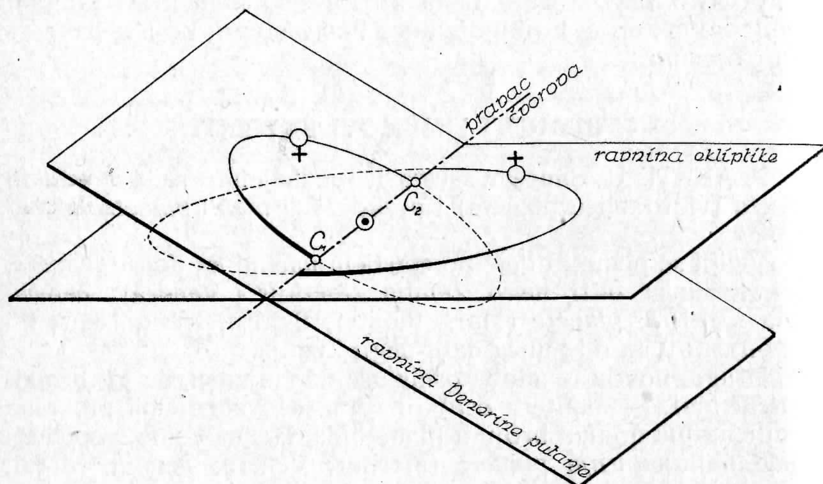
I jedna i druga razdioba stvaraju grupe planeta, koje imaju zajedničkih osobina. Tako na pr. samo donji planeti zbog položaja između Sunca i Zemlje pokazuju sve mijene (faze) svjetlosti, kao što ih pokazuje Mjesec, i imaju maksimalne elongacije od Sunca, a samo oni nemaju satelita.

Grupa unutarnjih planeta razlikuje se od grupe vanjskih planeta (ako ovamo ne ubrajamo dosad slabo poznati Pluton) u tom, što su unutarnji planeti manji i od gušće materije, vanjski veći i od rjeđe materije, unutarnji se vrte sporije, vanjski brže.

Svi se planeti gibaju po keplerskim eliptičnim putanjama oko Sunca u istom smislu. Ravnine se ovih putanja međutim ne

podudaraju sasvim sa ravninom ekliptike, ravninom Zemljine putanje. Kut, što ga čini ravnina putanje jednog planeta sa ravninom ekliptike, zove se *nagib putanje* tog planeta.

Kako ravnine putanje planeta i ekliptike prolaze Suncem, one se (Sl. 83.) sijeku u jednom pravcu, koji ide Suncem. Taj se pravac zove *pravac čvorova* dotičnog planeta, a točke, u kojima taj pravac siječe putanju planeta, zovu se *čvorovi* (Sl. 83., C_1, C_2). Samo onda, kad je planet u čvoru, on se nalazi u ekliptici, a može da dođe i u jedan pravac sa Suncem i Zemljom, ako se i Zemlja tada nalazi u pravcu njegovih čvorova.



Sl. 83

Uz gibanje oko Sunca (revoluciju) planeti se kao i Zemlja vrte oko jedne osi. Rotaciju planeta možemo utvrditi direktnim motrenjem na dalekozoru, ako na površini planeta vidimo pojedinosti (na pr. tamnije ili svjetlije pjege), kojih gibanje možemo pratiti. U drugim slučajevima zna pomoći i Dopplerov efekt. Ali ima slučajeva, gdje se rotacija planeta samo naslućuje, a nije se mogla niti utvrditi os rotacije, niti se moglo izmjeriti trajanje okretaja.

Planeti su tamna tijela, svjetlost, u kojoj ih vidimo, je Sunčeva svjetlost odbijena od njihove površine. Svjetlost se ne odbija jednako od svih materija. Istraživanja na Zemlji nas uče, da se na pr. od gustih oblaka odbija do 80 postotaka svjetlosti,

koja na njih pada, od golog Zemljinog tla 10—20 postotaka, od vulkanske lave 5 postotaka, od šume i mora samo 3—5 postotaka. Što se manje svjetlosti odbija od jednog tijela, to tamnije nam se ono čini, kad ga gledamo iz daljine. Ni svi planeti ne odbijaju jednako Sunčevu svjetlost. Broj, koji pokazuje, koliko postotaka primljene svjetlosti tijelo odbija, zove se *albedo*.[1] Albedo se označuje stotninama, na pr. albedo = 0,42 znači, da tijelo odbija 42 postotka svjetlosti, koja na nj pada. Poznavajući albedo pojedinih planeta možemo zaključiti i nešto o prirodi njihove površine.

TABLICA PLANETA

sa podacima o Suncu

	Znak	Srednja udaljenost od Sunca: milijuna kilometara	Srednja udaljenost od Sunca: astronomskih jedinica	Siderično vrijeme ophoda oko Sunca	Ekscentricitet putanje	Nagib putanje prema ekliptici	Ekvatorski promjer u kilometrima	Masa ako je Zemljina masa = 1	Gustoća prema vodi	Broj satelita
Sunce	☉	—	—	—	—	—	1 391 000	333 000	1,42	—
Merkur	☿	58	0,4	88 dana	0,206	7° 0′	4 800	0,04	3,73	—
Venera	♀	108	0,7	225 „	0,007	3°24′	12 200	0,82	5,21	—
Zemlja	♁	149,5	1,0	1 god.	0,017	—	12 757	1,00	5,52	1
Mars	♂	228	1,5	1,9 „	0,093	1°51′	6 800	0,11	3,94	2
Jupiter	♃	778	5,2	11,9 „	0,048	1°18′	142 700	318	1,34	11
Saturn	♄	1426	9,5	29,5 „	0,056	2°29′	120 800	95	0,65	10 i kolut
Uran	⛢	2869	19,2	84,0 „	0,047	0°46′	49 700	15	1,36	4
Neptun	♆	4496	30,1	164,8 „	0,009	1°47′	53 000	17	1,32	1
Pluton	♇	5899	39,5	247,7 „	0,249	17°09′	(5 000) ?	(?)	(?)	(?)

U starom vijeku bila je svakom planetu pridijeljena po jedna kovina, pa su u alkemiji srednjeg vijeka te kovine označivali istim znakom kao i planete. Tako je značilo: ☉ Sunce — zlato, ☾ Mjesec — srebro, ☿ Merkur — živa, ♀ Venera — bakar, ♂ Mars — željezo, ♄ Jupiter — kositar, ♃ Saturn — olovo. Još danas u kemiji postoje tragovi tih imena. Sami znakovi, premda se neki već nalaze u starom vijeku, dobili

[1] albus lat. bijeli, albedo = bjelina

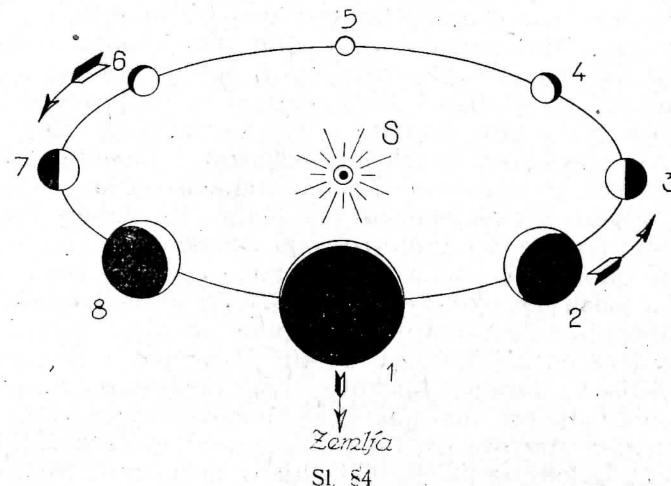
su svoj današnji oblik istom u 15. stoljeću. Zemlja je dobila znak ♁ tek onda, kada je po heliocentričnom sistemu uvrštena među planete.

MERKUR je najmanji između velikih planeta. Putanja mu ima od putanja svih velikih planeta, osim Plutona, najveći ekscentricitet. Otuda i dolazi, da se najveća elongacija od Sunca, koju Merkur dostigne u svom prividnom gibanju (vidi I. 12.), kreće između 18^0 i 28^0 (u perihelu odn. afelu). Masa mu svakako nije veća od 6/100 Zemljine. Rotaciju ima Merkur bez sumnje, ali joj se brzina nije mogla pouzdano utvrditi. Postoji mišljenje, da je trajanje jednog okretaja Merkura jednako sideričnom vremenu ophoda (88 dana). U tom slučaju bi Merkurova jedna strana bila uvijek okrenuta prema Suncu, a druga uvijek u sjeni. Na površini se pojedinosti (tamniji i svjetliji dijelovi) vide rijetko i nejasno. Albedo Merkura vrlo je malen, iznosi samo 0,07. Tragova atmosfere na Merkuru spektroskopski nije bilo moguće utvrditi. Čini se po svemu, da je Merkur tijelo nalik na naš Mjesec.

VENERA ima putanju najmanjeg ekscentriciteta, dakle najbližu kružnici. Odatle su i razlike između njenih najvećih elongacija u perihelu i afelu male; najveća elongacija je uvijek oko 46^0. U veličini, masi i gustoći Venera je najviše od svih planeta slična Zemlji. Trajanje Venerine rotacije nije se dalo odrediti, ali se sigurno vrti mnogo sporije nego Zemlja. Albedo Venere je osobito velik, 0,59, pa se po tom i po nekim pojavama rasipavanja svjetlosti u neosvijetljenom dijelu Venere zaključuje, da je površina Venere zastrta gustim oblacima. Po spektroskopskom istraživanju svjetlosti reflektirane od Venere može se zaključiti, da Venera ima *atmosferu,* koja se sastoji u bitnosti iz ugljičnog dioksida i vodene pare. Slobodnog kisika, čini se, ima vrlo malo. Da Venera ima atmosferu, zaključio je prvi put V. M. L o m o n o s o v kod prolaza Venere pred Suncem 1761.

Faze svjetlosti. Donji planeti Merkur i Venera pokazuju faze svjetlosti kao Mjesec. U donjoj konjunkciji (položaj 1, sl. 84.) Venera okreće Zemlji tamnu stranu, u gornjoj (položaj 5) osvijetljenu, ali je nevidljiva, jer kulminira istodobno sa Suncem. Kad se Venera na svom ophodu udaljuje na zapad, postaje *zvijezdom Danicom,* dostigne u položaju 3 najveću zapadnu elongaciju, prođe kroz gornju konjunkciju 5 i zatim kao *zvijezda Večernjača* dostigne u 7 najveću istočnu elongaciju. U najvećim elongacijama vidimo polovicu rasvijetljene

plohe. Ali najveći sjaj dostigne Venera u položajima 2 i 8, otprilike 5 tjedana prije i poslije donje konjunkcije, kad je doduše vidljiv samo srp, ali joj je prividna veličina već znatno narasla, a nije ni preblizu Suncu. U najvećem sjaju zna Venera biti vidljiva i po danu.

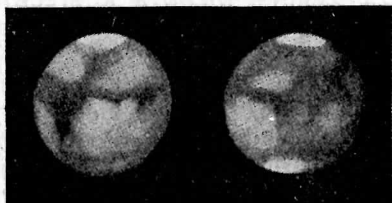


Sl. 84

MARS. Po srednjoj udaljenosti od Sunca Mars je u redu planeta odmah iza Zemlje; njegova je srednja udaljenost od Sunca $1\frac{1}{2}$ puta veća nego Zemljina. Veliki ekscentricitet Marsove putanje (vidi tablicu planeta) čini, da se udaljenost Marsa od Sunca znatno mijenja, ona je u perihelu 206 milijuna kilometara, u afelu 249 milijuna kilometara. Udaljenost Marsa od Zemlje još se jače mijenja; on u svakom sinodičnom ophodu (koji traje 2,135 godine) dođe Zemlji najbliže i vidi se stoga u najvećem sjaju, kad je u opoziciji, jer je tada njegova udaljenost od Zemlje približno jednaka razlici njegove i Zemljine udaljenosti od Sunca. Naprotiv njegova je udaljenost od Zemlje najveća, kad je u konjunkciji. Ne dovode međutim sve opozicije Mars u jednaku blizinu Zemlje, nego su najpovoljnije u tom pogledu one opozicije, kod kojih je Mars ujedno u svom perihelu, jer tada je on Suncu najbliži, a Zemlja je u to doba u većoj nego srednjoj udaljenosti od Sunca. U perihelnoj se opoziciji Mars zna približiti Zemlji čak na 55 milijuna kilometara. Zbog velikih promjena daljina i prividni promjer Marsa veoma se mijenja, te se kut, pod kojim vidimo promjer, kreće između 4″ i 26″.

Iz veličine promjera, mase i gustoće Marsa (vidi tablicu planeta) vidimo, da je Mars nebesko tijelo mnogo manje od Zemlje i od prosječno rjeđe materije.

Površinu Marsa poznajemo bolje nego površinu ikojeg drugog planeta, jer nam dođe bliže nego drugi veliki planeti, a ima prozirnu atmosferu. *Albedo* Marsa iznosi 0,15, pa je iza Merkurova i Mjesečeva najmanji. Mali albedo moramo da svodimo na to, što se Sunčeva svjetlost odbija baš od njegove površine, a ne od oblaka. Dalekozorom se na površini Marsa vide pjege razne boje, osobito svjetlije crvenkaste (zbog kojih je Marsova svjetlost izrazito crvenkasta) i tamnije sivkasto-zelene. Neke se pjege vide u tako stalnom obliku, da su bez sumnje u vezi sa obličjem površine Marsa. Po stalnim pjegama mogla se i pouzdano utvrditi *rotacija Marsa:* on se vrti oko osi, koja sa okomicom na ravninu njegove putanje čini kut od $24^0 52'$, a jedan mu okretaj traje $24^h 37^m 23^s$. Ovim vrijednostima odgovaraju kod Zemlje priklon ekliptike od $23\frac{1}{2}^0$ i duljina zvjezdanog dana od $23^h 56^m 4^s$, pa se vidi, da je Mars u pogledu rotacije nalik na Zemlju. Marsova Sunčeva godina je međutim dulja od Zemljine i ona ima 670 Marsovih zvjezdanih dana. Zbog nagiba Marsove osi bit će i razdioba godišnjih doba na njemu slična kao na Zemlji. Od pojava na površini Marsa vrlo su značajne dvije *bijele pjege,* koje se vide na njegovim polovima (Sl. 85.). One mijenjaju veličinu, postaju manje, kad do-



Sl. 85. Fotografije Marsa iz god. 1924. (Lowell-zvjezdarna, Sjev. Amerika).

tična hemisfera Marsa ima ljeto, a veće zimi. Misli se, da su te bijele pjege materija nalik na oblake od snijega, koja lebdi u atmosferi i kod grijanja brzo isparivanjem iščezne.

Neki su motritelji na Marsu vidjeli tanke tamne pravce, koji spajaju tamne pjege. Ovi su pravci nazvani »kanalima«. Utvrđeno je, da tih pravaca u stvari i nema, nego da se tu radi o optičkoj varci.

Nema sumnje, da Mars ima *atmosferu,* ali će ona biti rjeđa od Zemljine. Marsova atmosfera prema spektroskopskim podacima sadržava kisika i vodene pare, ali u količinama neuporedivo manjim nego Zemljina atmosfera. I osim polarnih bijelih pjega vide se na Marsu tragovi stvaranja oblaka, jer neke stalne pjege pokazuju sad oštrije, sad mutnije granice.

Sunce grije površinu Marsa slabije nego površinu Zemlje, jer je Mars dalji od Sunca. K tomu rijetka atmosfera Marsa, u kojoj je i vrlo malo vodene pare, ne zaštićuje površinu Marsa toliko od gubitaka topline, kao Zemljina atmosfera Zemlju. Iz mjerenja Marsova žarenja našlo se, da se temperature kreću od -70^0 do $+6^0$ u polarnim krajevima, a od -45^0 do $+18^0$ C u ekvatorskim. Temperaturne prilike u ekvatorskim krajevima već su, čini se, uporedive sa prilikama u nekim nastanjenim krajevima Zemlje. Iako je atmosfera Marsa vrlo rijetka i oskudijeva kisikom i vodenom parom, koji na Zemlji podržavaju život, ipak se ne može poreći mogućnost makar najnižih oblika organskog života na Marsu. Ali se može s potpunom sigurnošću tvrditi, da dosada nije otkriven nikakav trag bilo čega, što bi svjedočilo o kakvom životu na Marsu.

Mars ima *dva* satelita, koji oko njega kruže. To su vrlo mala nebeska tijela, ali su zanimljiva u pogledu načina gibanja oko Marsa. Marsu bliži zove se *Fobos,* udaljen je od središta Marsove kugle samo 9300 km, dakle manje od 3 Marsova polumjera, a ophodno vrijeme mu je samo $7\frac{1}{2}$ sata. Stoga Fobos na Marsovu nebu izlazi na zapadu i zalazi na istoku, i to tri puta u jednom danu. Drugi satelit Marsa zove se *Deimos;* on je više nego 2 puta dalji nego Fobos, a ophodno mu je vrijeme 30 sati, dakle dulje od Marsova dana. Deimos na Marsovu nebu doduše izlazi na istoku, ali zna da ostane i 3 dana nad horizontom.

Prve pojedinosti na površini Marsa pronađene su tokom 17. stoljeća, promjene bijelih pjega na polovima sa godišnjim dobama našao je W. Herschel krajem 18. stoljeća, a sateliti Marsa otkriti su istom na kraju 19. stoljeća. G. Schiaparelli je 1877. počeo sustavno istraživati navodne Marsove kanale, za koje je tek moderna fotografija utvrdila, da ne postoje.

PLANETOIDI. U nizu velikih planeta dolazi iza Marsa planet Jupiter. Jupiterova je udaljenost od Sunca više nego tri puta veća od Marsove (vidi tablicu planeta), a tako velikog razmaka kao što između Jupitera i Marsa nema ni između koja dva druga velika planeta. Stoga se već pri kraju 18. stoljeća naslućivalo,

da se u velikoj praznini između Marsa i Jupitera giba oko Sunca još nepoznati planet.

Godine 1801. otkriven je mali planet *Ceres,* kojega je putanja dobro pristajala u prazninu, odmah iduće godine još manji *Palas* u istom području, a do godine 1845. bilo je poznato već pet malih planeta između Marsa i Jupitera. Od tada je počelo sistematsko pretraživanje onih područja neba, gdje su se mogli očekivati ovi mali planeti. Ova mala nebeska tijela, koja se gotovo bez izuzetka gibaju na putanjama između putanja Marsa i Jupitera, dobila su skupno ime *planetoidi* ili *asteroidi.* Otkrivanje novih planetoida veoma je olakšano, kad se ovdje počela primjenjivati *fotografija.* Ako se astrografom snimi jedan dio neba, onda se zvijezde stajačice na fotografiji vide kao točke, jer astrograf se okreće brzinom prividne dnevne rotacije neba. Ako se među zvijezdama u tom dijelu neba nalazi planetoid, njegova će slika biti crta, jer je on za vrijeme ekspozicije ploče mijenjao mjesto na nebu (Sl. 86.). Mnogi planetoidi dobili su i posebna imena, ali uglavnom se označuju brojem. Ima sada preko 1500 poznatih planetoida.



Sl. 86. Fotografski trag planetoida (tanka crtica, na koju pokazuje strelica).

Putanje planetoida u više slučajeva odstupaju od putanja velikih planeta svojim velikim ekscentricitetom i nagibom prema ravnini ekliptike. Tako planetoid *Hidalgo,* koji dolazi

gotovo do Saturnove putanje, ima najveći uopće poznati ekscentricitet (0,65) i najveći nagib (43°). Ophodna su vremena planetoida od 2 do 9 godina. Nekoji od planetoida dođu Zemlji osobito blizu, jer ih vrlo ekscentrična putanja vodi i u prostor između Zemlje i Marsa. Ovamo ide planetoid *Eros,* važan radi određivanja paralakse Sunca. U najnovije vrijeme otkriveni su planetoidi, koji se znaju u opoziciji Zemlji približiti još više nego Eros. Najbliže (600 000 km) došao je planetoid *Hermes* (s oznakom 1937 UB), koji bi mogao doći Zemlji bliže od Mjeseca, na svega 353 000 km = 0,0024 astr. jedinica.

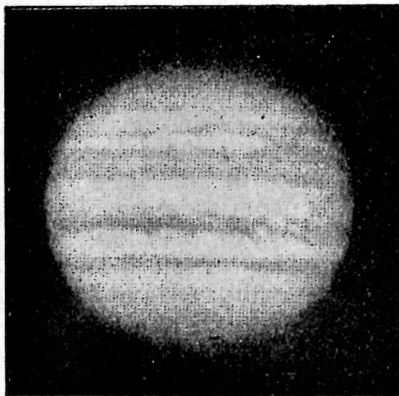
Planetoidi su pretežno vrlo mala tijela i slabe svjetlosti; samo *Vesta* mogla bi se, kad je u najvećoj blizini, vidjeti prostim okom. Najveći je planetoid *Ceres* sa promjerom od 770 km; zatim dolaze od najvećih *Palas* (480 km), *Vesta* (390 km), *Juno* (190 km). Veličine su promjera i ovih najvećih dosta nesigurne, a od ostalih manjih mogu se samo otprilike nagađati. Bez sumnje ih najveći broj ima promjere ispod 100 km, a ima ih sigurno i s promjerom manjim od 10 km.

Prvi planetoid Ceres otkrio je na Novu Godinu 1801. Piazzi u Palermu, baš u vrijeme, kad je bilo na jednom kongresu već zaključeno, da 24 astronoma sistematski pretraže pojas ekliptike, ne bi li našli nepoznati planet između Marsa i Jupitera. Poslije se to slabo vidljivo tijelo izgubilo, ali je na slijedeću Novu Godinu opet nađeno, sada na osnovi poznavanja putanje, koju je izračunao Gauss. Planetoid br. 589 ili 1906 TM, koji je otkrio Aug. Kopf 3. III. 1906. fotografski na zvjezdarnici Heidelberg-Königsstuhl, nazvan je »Croatia« prema prijedlogu Max Wolfa, a na spomen utemeljenja zvjezdarnice Hrv. prirodoslovnog društva u Zagrebu.

Na astronomskom opservatoriju univerziteta u Beogradu otkrito je astrografom nekoliko planetoida. Od tih je planetoid br. 1550 ili 1937 WD nazvan »Tito« po prijedlogu otkrivača M. Protića. U perihelnim opozicijama dosegne 13. veličinu.

JUPITER. Jupiter se vidi kao jedna od najsjajnijih zvijezda na nebu; kad je u opoziciji, premašuje ga sjajem samo Venera. On dođe u opoziciju svake godine jedamput, ali svake godine za 1 mjesec kasnije. Jupiter je gorostas među planetima; svojom masom, 318 puta većom od Zemljine, premašuje ne samo sve ostale planete, nego i zbroj njihovih masa. Još više nadmašuje ostale planete volumenom, koji je 1400 puta veći od Zemljinog. Gustoća mu je prema tome i znatno manja od Zemljine. Spljoštenost Jupitera je velika, iznosi $^1/_{15}$, te se vidi u dalekozoru i na fotografiji Jupitera.

Po pjegama, koje se vide na površini Jupitera, mogla se odrediti brzina i os rotacije. Jupiter se okreće jedamput u 10^h oko osi, koja stoji gotovo okomito na ravnini njegove putanje. Brzina rotacije, koja je za tako golemo tijelo vanredno velika, razjašnjuje nam i veliku sploštenost na polovima. U dalekozoru vidimo niz pruga smeđaste boje, paralelnih sa Jupiterovim ekvatorom (Sl. 87.). Ove su pruge kod manjih povećanja oštrije, kod većih povećanja naliče više na oblake, koji su isprekidani tamnijim rupama nanizanim u približno jednakim razmacima od ekvatora. Pojedine oblačne pjege mijenjaju, katkad dosta brzo, svoj položaj na planetu. U skladu s oblačnom površinom i albedo Jupitera je velik, 0,56.



Sl. 87. Fotografija Jupitera (Lowell-zvjezdarna 1917.).

Mnogo se raspravljalo o velikoj crvenoj pjegi Jupitera (otprilike 20^0 širine južno od njegova ekvatora), koja je zapažena god. 1878. Crvena se boja gubila, a ostao je dugo od pjege vidljiv trag u obliku ovalnog oblaka. Nije isključeno, da je to bila provala usijane materije iz unutrašnjosti planeta, koja se vidjela ispod oblaka.

Iz svega izlazi, da Jupiter ima atmosferu nemirnu, sa silnim oblacima. Sastav atmosfere mogao se spektroskopski donekle odrediti. Po tome bi se Jupiterova atmosfera sastojala od spojeva dušika i ugljika sa vodikom, poglavito od amonijaka (NH_3) i metana (CH_4).

Mjerenjem žarenja našlo se, da je temperatura na Jupiteru niska (—110^0 do —135^0 C).

JUPITEROVI SATELITI. Oko Jupitera kruži u raznim daljinama *11 satelita.* Četiri satelita našao je već Galilei svojim dalekozorom. Ova su četiri Jupiterova satelita tako veliki, da bi se mogli i prostim okom vidjeti, kad ne bi bili tako blizu samom planetu. Veličinom su nalik našem Mjesecu, a kruže u ravnini Jupiterova ekvatora, te predočuju Sunčev sustav u malom omjeru. Peti je Jupiterov satelit otkriven istom krajem devetnaestog stoljeća, a on je planetu najbliži. Ostali su sateliti otkriveni još kasnije fotografskim putem.

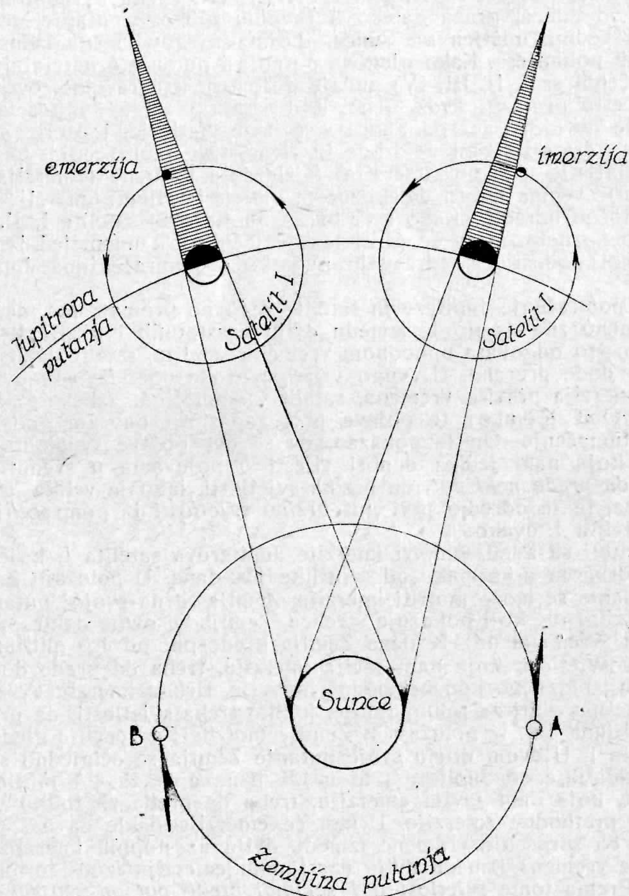
POMRAČENJA JUPITEROVIH SATELITA. Sjena se Jupitera, osvijetljenog od Sunca, pruža daleko u ravninu njegove putanje, jer je on i golem i veoma udaljen od Sunca, duljina njegove sjene iznosi 12 300 Jupiterovih polumjera. Kako njegova putanja i putanje 4 najsjajnijih satelita (označenih sa I, II, III, IV) padaju gotovo u istu ravninu, ovi će sateliti vrlo često prolaziti kroz sjenu. Kad satelit ulazi u Jupiterovu sjenu, on postane nevidljiv, jer ga Sunce više ne osvjetljuje, i ostaje nevidljiv, sve dok na drugoj strani ne izađe iz sjene. Ova pomračenja Jupiterovih satelita, ulaženje u sjenu (imerzija) i izlaženje iz sjene (emerzija) mogu se sa Zemlje veoma dobro dalekozorom vidjeti i vrijeme imerzije i emerzije vrlo točno odrediti. Kako su gibanja Jupiterovih satelita I, II, III, IV vrlo točno poznata, može se čas imerzije i emerzije unaprijed izračunati. Astronomski godišnjaci sadržavaju podatke o pomračenjima Jupiterovih satelita.

Ako pomračenje Jupiterovih satelita redovno promatramo, naći ćemo, da povremeno zna da prođe između dviju uzastopnih imerzija kraće vrijeme, nego što odgovara ophodnom vremenu satelita, satelit dakle svojom imerzijom dođe prerano. U drugo vrijeme prođe opet između dviju uzastopnih emerzija previše vremena, satelit s emerzijom zakasni. Danski je astronom Olaf R ö m e r te pojave prvi zapazio i dao im god. 1675. i ispravno tumačenje. On je pokazao, da se ove pojave svode na to, što *svjetlost,* koja nam jedina donosi vijesti o pojavama u svemiru, *treba vremena, da pređe neki put,* da brzina svjetlosti, iako je velika, ipak nije neizmjeriva, te je odredio prvi put *brzinu svjetlosti* iz pomračenja Jupiterova satelita I ovako:

Motritelj sa Zemlje motri imerzije Jupiterova satelita I, koje slijede jedna za drugom u razmaku od otprilike 1¾ dana. U položaju Zemlje A (sl. 88), odakle se može motriti imerzija, Zemlja se na svojoj putanji giba smjerom tangente, koji pokazuje strelica, Zemlja se ovdje dakle približava Jupiteru. U vremenu od 1¾ dana Zemlja pređe put od $4^1/_2$ milijuna kilometara, pa svjetlost, koja nam javlja imerziju, treba da pređe do nas za toliko manji put nego kod prethodne imerzije. Druga imerzija će se stoga prividno za nas zbiti za toliko ranije, koliko treba svjetlosti, da pređe put od $4^1/_2$ milijuna km. Iz položaja B Zemlje motritelj sa Zemlje gleda emerzije satelita I. U ovom dijelu svoje putanje Zemlja se očigledno smjerom tangente udaljuje od Jupitera i to u 1¾ dana opet za $4^1/_2$ milijuna km, a svjetlost, koja nam javlja emerziju, treba da pređe za toliko veći put nego kod prethodne emerzije. Druga će emerzija dakle za nas prividno zakasniti. To skraćenje vremena između dviju uzastopnih imerzija, kao i produženje vremena između dviju uzastopnih emerzija iznosi približno 15 sekunda. Prema tome *svjetlost u 1 sekundi pređe put od 300 000 km,* jer joj za put od 4,5 milijuna km treba 15 sekunda.

U položajima A i B je Jupiter u *kvadraturi,* t. j. otprilike na sredini između opozicije i konjunkcije. U opoziciji i konjunkciji se Zemlja Jupiteru niti približava, niti od njega udaljuje. Ako računamo vrijeme imerzije u času konjunkcije, dodavajući počevši od vremena imerzije kod opozicije, gdje je Zemlja Jupiteru najbliža, potreban broj ophoda Jupiterova satelita I, opazit ćemo razliku između računanog i opaženog vremena imerzije u iznosu od 1000 sekunda. U konjunkciji je Zemlja dalja

od Jupitera nego u opoziciji za 300 000 000 km, pa svjetlost zakasni za 1000 sekunda, dok pređe taj razmak; dakle je opet brzina svjetlosti 300 000 km u sekundi. Tako je Römer sam nadopunio svoja ispitivanja, jer mu put Zemlje u 15 sekunda nije bio dovoljno točno poznat.

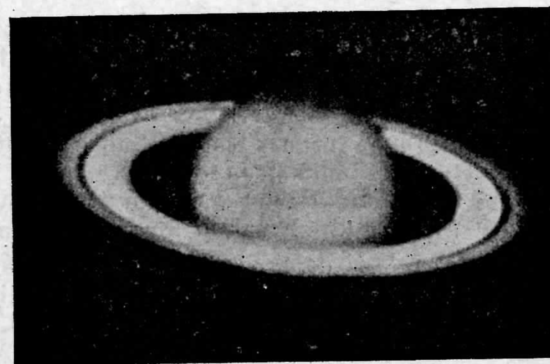


Sl. 88

Iako je brzina svjetlosti ogromna — svjetlost bi prešla u 1 sekundi 7½ puta oko Zemljina ekvatora — ipak kod astronomskih daljina nastaju znatne razlike u vremenu, kad se pojava u svemiru uistinu događa i kad je mi zapazimo. Svjetlosti treba od Sunca do Zemlje 8⅓ minute. U dalekom svemiru zvijezda stajačica daljine su neuporedivo veće, te je malo zvijezda, od kojih svjetlosti treba do nas manje nego 100 godina.

Galilejevo otkriće Jupiterovih satelita smatrali su i njegovi pristaše i protivnici najvažnijim njegovim otkrićem pomoću dalekozora. Protivnici, kao pristaše Aristotelove škole, iznosili su protiv heliocentričnog sistema kao glavni protudokaz, da je mehanički nemoguće kruženje tijela oko jednog tijela, koje se samo giba. Jupiterovi su sateliti ovaj protudokaz tako odlučno pobijali, da su protivnici posumnjali o gledanju na dalekozor uopće. Pomračenja Jupiterovih satelita motrili su pomnjivo zato, da bi služila u pomorstvu za određivanje geografske dužine, kao pojave istodobno vidljive s raznih mjesta Zemlje.

SATURN. *Saturn* je iza Jupitera najveći planet, promjer mu je oko 9½ puta veći od Zemljinog, volumen 800 puta, a masa 95 puta veća nego Zemljina. Gustoća mu je manja nego gustoća vode, iznosi samo 0,7. Albedo je njegov 0,63, još veći dakle nego albedo Jupitera. Saturn nam se prikazuje kao jedna od najsvjetlijih zvijezda. Njegovo je siderično ophodno vrijeme 29,5 godine, dakle tako veliko, da ostaje 2—3 godine u istom zviježđu zodijaka.



Sl. 89. Fotografija Saturna (Mt. Wilson-zvjezdarna).

U dalekozoru se vide na Saturnu pruge kao i na Jupiteru, samo mnogo slabije. Pojavile su se i pojedine pjege, po njima bilo je moguće utvrditi i vrijeme i os rotacije Saturna, a rezultati potvrđeni su i pomoću Dopplerova efekta. Saturn se okreće jedamput oko osi u nešto više od 10^h, a os rotacije mu ne stoji okomito na ravnini putanje. Ravnina Saturnova ekvatora čini sa ekliptikom kut od 28⁰.

Spljoštenost na polovima kod Saturna još je veća nego kod Jupitera, iznosi oko $^1/_{11}$. Velika je spljoštenost i kod Saturna očito u vezi s velikom brzinom rotacije.

*

Albedo, gustoća i spektroskopski nalaz pokazuju, da je Saturn po svom sastavu i stanju, u kom se nalazi, tijelo slično Jupiteru. Ima atmosferu oblačnu još više od Jupiterove i istog kemijskog sastava.

Saturnov kolut. Na Saturnu vidimo jednu pojavu, kojom se on razlikuje od svih poznatih nam nebeskih tijela. Kako pokazuje fotografija Saturna (Sl. 89.), oko njega, u produženju njegove ekvatorske ravnine, lebdi slobodno — ne dodirujući se njegove površine — ogroman plosnat, svijetao *kolut.* Vanjski je polumjer koluta $2\frac{1}{2}$ puta veći od ekvatorskog polumjera Saturna, unutarnji rub koluta ima od planetova ekvatora razmak od otprilike 10 000 km.

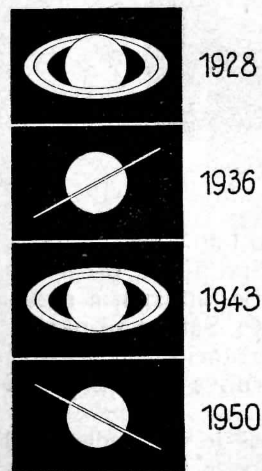
Radi različitog gibanja Saturna i Zemlje, kao i radi priklona Saturnova ekvatora prema ravnini ekliptike, vidjet ćemo Saturnov kolut tokom vremena u raznim položajima. Kolut može povremeno i da iščezne za naš vid; to će biti u položajima:

a) kad ravnina koluta ide kroz Sunce, pa nije osvijetljena nijedna strana koluta, nego samo njegov uski brid;

b) kad ravnina koluta ide kroz Zemlju, pa ne možemo vidjeti nijedne strane koluta, makar i bila osvijetljena od Sunca;

c) kad ravnina koluta prolazi između Sunca i Zemlje, pa je Zemlji okrenuta nerasvijetljena strana koluta.

Slika 90. pokazuje četiri glavna položaja Saturnova koluta, koje on zauzima gledan za Zemlje.



Sl. 90

U dalekozorima sa većim povećanjem vidi se, da Saturnov kolut dijeli tamna kružna crta, Cassinijeva crta ili pukotina, na dva dijela. Utvrđeno je fotometričkim i spektroskopskim istraživanjima, da Saturnov kolut nije jedinstveno tijelo, nego da se sastoji od mnoštva malih tijela (satelita prosječne veličine možda kao meteoriti), koja kruže oko Saturna pod utjecajem njegove gravitacije. Mjerenje brzine pomoću Dopplerova efekta pokazalo je, da unutrašnji dijelovi koluta imaju veću brzinu nego vanjski, a to ne bi moglo biti kod jedinstvenog tijela. Naprotiv se takva razdioba obodnih brzina slaže sa gibanjem odvojenih tijela, koja se gibaju po Keplerovim zakonima.

Saturnov kolut vidio je zapravo prvi već Galilei, ali mu se nije učinio kao kolut, nego kao da planet ima s obje strane ušice, jer je kolut bio u nezgodnom položaju. To je svoje otkriće saopćio Kepleru, ali ispremiješanim slovima, da sebi osigura prvenstvo otkrića. Ispravno je vidio i opisao Saturnov kolut istom 1655. Kristijan Huygens. Teoretsko tumačenje prirode Saturnova koluta dao je poznati fizičar J. Cl. Maxwell 1856.

Saturnovi sateliti. Oko Saturna kruži *deset* satelita, kojima se ravnine putanja gotovo podudaraju sa ravninom Saturnova ekvatora i koluta. Saturnu najbliži udaljen je od središta planeta otprilike 3 Saturnova polumjera, najudaljeniji 214 takvih polumjera. Ophodno je vrijeme najbližeg nešto manje od 1 dana (zemaljskog), a najudaljenijeg 551 dan.

URAN, NEPTUN, PLUTON. Ovi, koliko danas znamo, najudaljeniji članovi planetskog sustava Sunca otkriveni su u zadnjih 150 godina. Starom i srednjem vijeku bili su nepoznati, jer tako slabo svijetle, da se prostim okom ne mogu vidjeti — izuzevši Uran, koji vrlo oštro oko može u rijetkim prilikama vidjeti.

Povijest otkrića ovih planeta prikazana je u gl. III. 8.

O prirodi *Plutona* danas još se gotovo ništa ne zna, nije mu još određena pouzdano ni veličina ni masa, pa prema tome ni gustoća. Drži se, da je manji i manje mase od Zemlje.

Uran i *Neptun* jedan su drugom u mnogočemu slični. Oba su i većega promjera nego Zemlja (4, odn. $4\frac{1}{2}$ puta) i veće mase (15 odn. 17 Zemljinih masa). Iako dakle veći od Zemlje, zaostaju daleko za gorostasima Jupiterom i Saturnom. I *Uranu* i *Neptunu gustoća* je mala (otprilike $\frac{1}{4}$ Zemljine gustoće), *albedo* velik (Neptun ima sa 0,73 najveći albedo od svih planeta). Rotacija određena je samo kod *Urana,* vrijeme rotacije mu je 11^h, rotacija dakle razmjerno brza, pa prema tome i sploštenost ($^1/_{12}$) velika. Uranova rotacija je retrogradna, zvijezde dakle gledane sa Urana izlaze svakih 11 sati na zapadu. Neptunova rotacija nije pouzdano utvrđena, ali po nekim spektroskopskim nalazima čini se, da je brza.

Veliki albedo i apsorpcioni spektar govore, da Uran i Neptun imaju oblačnu atmosferu kao i Jupiter i Saturn i da je atmosfera i istog kemijskog sastava.

Sateliti. Oko Urana kruže *četiri* satelita na putanjama, koje padaju približno u njegovu ekvatorsku ravninu; ravnina putanja satelita stoji gotovo okomito na ravnini Uranove putanje. Ophodna su vremena tih satelita od $2\frac{1}{2}$ do $13\frac{1}{2}$ dana.

Neptun ima samo jedan satelit, koji se u udaljenosti od 13 Neptunovih polumjera giba oko Neptuna sa ophodnim vremenom od blizu 6 dana.

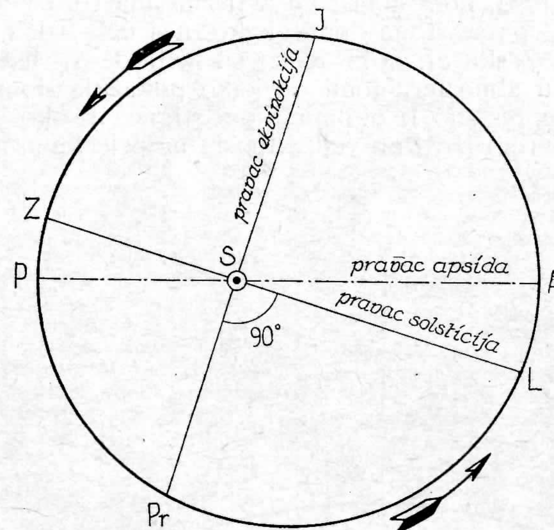
4. ZEMLJA

REVOLUCIJA, PUTANJA, ROTACIJA. O Zemljinoj revoluciji i putanji bila je riječ u gl. I. 10., gdje je prikazan odnos rotacije prema revoluciji. U toj smo glavi razmatrali Zemljina gibanja naročito u odnosu prema motritelju, koji ima svoje stajalište na Zemlji. Zamislimo sada, da je naše stajalište daleko izvan Zemlje, tako da pogledom obuhvatimo i Sunce i Zemljinu putanju, da stojimo u svemiru na pr. na sjevernoj strani ravnine ekliptike (na slici 41. na gornjoj strani te ravnine). Gledajući smisao, u kom kruži Zemlja oko Sunca i u kom se ona vrti oko osi (oba označena na sl. 41. strelicama), našli bismo, da *oba gibanja imaju smisao suprotan kazaljki na uri.* Isti smisao ima i rotacija Sunca (gl. IV. 2.), a taj *isti smisao revolucije i rotacije prevladava u cijelom Sunčevu sustavu.* Samo izuzetno ima po koje tijelo Sunčeva sustava suprotan smisao revolucije ili rotacije i za takvo tijelo onda velimo, da mu je revolucija ili rotacija »retrogradna«.

Kako je ekscentricitet Zemljine putanje malen, to njena perihelna i afelna udaljenost od Sunca ne odstupaju mnogo od srednje udaljenosti 149,5 milijuna km, perihelna je udaljenost 147 milijuna km, afelna 152 milijuna km. Prosječna brzina revolucionog gibanja Zemlje je 29,8 km u sekundi, perihelna brzina je, kako to odgovara drugom Keplerovu zakonu, veća i iznosi 30,3 km u sekundi, dok afelna iznosi samo 29,3 km u sekundi.

Poznato nam je iz gl. I. 5. i I. 10., da su važne točke na putanji Zemlje *proljetna* i *jesenska točka* (ekvinokcijske točke), u kojima ravnina ekvatora položena Suncem siječe Zemljinu putanju. Pravac, koji spaja proljetnu točku (Sl. 91., *Pr*) sa jesenskom točkom *(J)*, zove se *pravac ekvinokcija,* a pravac, koji spaja točku ljetnog solsticija *(L)* sa točkom zimskog solsticija *(Z)*, zove se *pravac solsticija.* Iz razlaganja u gl. I. 10. izlazi, da je pravac ekvinokcija nužno okomit na pravcu solsticija. *Pravac apsida,* koji spaja perihel *P* sa afelom *A,* nije međutim okomit na pravcu ekvinokcija. Posljedica je toga, da postoje razlike u trajanju godišnjih doba, jer niti su lukovi, koje Zemlja pređe

u pojedinim godišnjim dobama, jednaki, niti ih ona pređe jednakom brzinom. Kako je brzina gibanja Zemlje u perihelu najveća, preći će Zemlja luk od početka zime u točki *Z* do početka proljeća u točki *Pr* u nešto kraćem vremenu nego luk od početka jeseni u točki *J* do početka zime. Godišnja doba, u kojima je Zemlja u blizini afela, pogotovo će biti dulja.



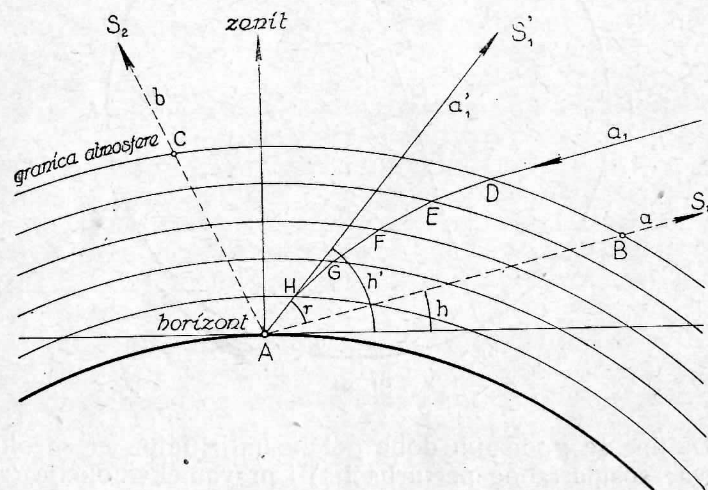
Sl. 91

Duljine se godišnjih doba polako mijenjaju, jer se okreće i pravac apsida (zbog perturbacija) i pravac ekvinokcija (zbog precesije). Zemlja sada prolazi kroz perihel u januaru, a kroz afel u julu.

Treba da dobro uočimo činjenicu, da je Zemlja baš u ono doba godine, kada je na sjevernoj hemisferi Zemlje najhladnije, najbliža Suncu, a kad je najtoplije, najdalja od Sunca. Time još jasnije iskače činjenica, da promjene udaljenosti Zemlje od Sunca ne utječu na promjene godišnjih doba, ni na temperaturne prilike na Zemlji, nego godišnja doba nastaju promjenom deklinacije Sunca i duljine njegova danjeg luka, kako je izloženo u gl. I. 7. i I. 10.

ASTRONOMSKA REFRAKCIJA. Svjetlost, koja dolazi od nebeskih tijela na Zemlju, lomi se na prolazu kroz Zemljinu

atmosferu, a lomit će se to jače, što je deblji sloj atmosfere i što je gušći zrak, kojim prolazi. Stoga će se više prelomiti, t. j. više otkloniti od svog prvobitnog smjera svjetlost od onih nebeskih tijela, koja su blizu horizontu (na pr. S_1 u sl. 92.), jer ona pređe veći put kroz atmosferu, nego od tijela blizu zenitu (na pr. S_2). Budući da je zrak to gušći, što je bliži Zemlji, to zraka svjetlosti, koja dolazi od zvijezde, ulazi u sve gušće slojeve zraka, pa se stoga lomi, kako nas uči fizika, sve više k okomici. Zraka a_1, koja dolazi od zvijezde S_1, ušavši kod D u zemaljsku atmosferu lomi se, kako pokazuje slomljena crta *DEFGH*, neprestano k okomici, pa stigne u oko motritelja najzad smjerom *HA* i on vidi zvijezdu na prividnom mjestu S_1'.



Sl. 92

Lom svjetlosti nebeskih tijela u zemaljskoj atmosferi djeluje tako, da nebeska tijela vidimo u prividno većoj visini nad horizontom, nego što bismo ih vidjeli, da nema atmosfere. Ova se pojava zove *astronomska refrakcija.* U stvari kut refrakcije nije nikada tako velik kao na našoj slici, gdje su svi odnosi radi veće jasnoće pretjerani. Kut refrakcije r, koji je jednak razlici prividne i prave visine h'—h, iznosi, ako zrak ima normalnu gustoću (kod temperature 0^0 C i tlaka 760 mm), za nebeska tijela u blizini horizonta oko $\frac{1}{2}^0$, u blizini zenita samo po koju kutnu sekundu. Posljedica je astronomske refrakcije među drugim

i to, da nebeska tijela prividno ranije izlaze na istočnom horizontu i kasnije zalaze na zapadnom.

SCINTILACIJA. Na lomu svjetlosti u atmosferi osniva se i pojava treperenja svjetlosti zvijezda, *scintilacija.* Zbog razlika temperature nastaju u atmosferi nepravilna gibanja, strujanja sad manjih, sad većih dijelova zraka (nemir zraka). Sa temperaturom mijenja se i gustoća zraka, pa se svjetlost u zraku različite temperature različito i lomi. Nemir zraka uzrokovat će stoga sitne pomake prividnog mjesta zvijezde, ona će se trzati na razne strane, a skupni učinak tog trzanja je treperenje zvijezde.

BOJA NEBA. Kad ne bi bilo Zemljine atmosfere, mogle bi se zvijezde vidjeti i onda, kad je Sunce na nebu. Cijeli je nebeski svod Sunčevim zrakama rasvijetljen samo stoga, što se Sunčeva svjetlost na prolazu kroz atmosferu rasipava na sve strane i ta nam razasuta svjetlost dolazi odasvud sa nebeskog svoda. Pri tom se od sitnih čestica u atmosferi odbije više svjetlosti plavog i ljubičastog dijela spektra, pa je zbog toga nebo plavo. Kod totalne pomrčine Sunca nebo je i po danu tamno i vide se zvijezde, jer Sunčeve zrake svemirski prostor ne rasvjetljuju, a u zemaljsku atmosferu ne dopiru, kad je Sunce zaklonjeno Mjesecom.

SUMRAK. Rasipavanje svjetlosti u atmosferi čini, da između dana i noći postoji prelazno vrijeme *sumraka* (sutona). I u sjeni i kod oblačnog neba vidimo predmete osvijetljene tom razasutom svjetlosti. Na sličan način nastaje i sumrak. Kad je Sunce već zašlo pod horizont ili još nije izašlo nad horizont, te njegove zrake ne mogu doseći naše stajalište, tada njegove zrake ipak mogu doprijeti u više slojeve atmosfere. U atmosferi se Sunčeva svjetlost odbija od čestica u zraku na sve strane i do nas dopre razasuta svjetlost od osvijetljenog neba. Pri tom rasvjeta neba zna često da pokazuje vrlo žive boje (večernje i jutarnje rumenilo). Osobito žarke boje Sunčeva zalaza uzrokovane su poglavito česticama prašine u atmosferi. Stoga znaju nakon erupcija vulkana, kad se u znatne visine atmosfere izbace velike količine pepela, koje atmosferske struje daleko raznose, boje neba u sumraku biti vanredno jake.

Vrijeme navečer od zalaza Sunca do časa, kad je Sunce 6^0 pod horizontom, i ujutro od toga časa do izlaza Sunca zove se *građanskim sumrakom;* iza građanskog sumraka nastupa za građanski život noć, tada se užižu umjetna svijetla. Vrijeme, kad je Sunce više od 6^0 a manje od 18^0 ispod horizonta, zove se *astronomski sumrak;* u tom vremenu još ne vidimo svih zvijezda, koje možemo vidjeti prostim okom. Građanski sumrak u našim krajevima traje 30—40 minuta. Blizu ekvatora sumrak je kraći.

POLARNA SVJETLOST (sjeverna zora) je pojava svjetlosti u visokim slojevima atmosfere, koja se vidi često u polarnim krajevima Zemlje, u našim širinama rijetko. Polarna svjetlost pokazuje veliku raznolikost boja i oblika (svijetli lukovi, zrakasti oblici, zavjese i dr.). Polarna se svjetlost tumači kao električna pojava u vrlo razrijeđenom zraku velikih visina atmosfere. To je pojava slična svjetlosti t. zv. Geisslerovih cijevi ili neon-cijevi, koje služe za reklamu u noći, a u kojima se izjednačuju velike električne napetosti kroz razrijeđene plinove. Pojava polarne svjetlosti u vezi je sa zemaljskim magnetizmom i sa pjegama na Suncu, te pokazuje isti 11-godišnji period kao i Sunčeve pjege.

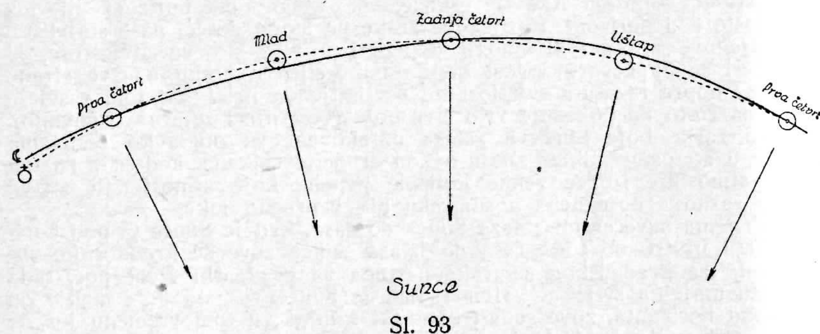
5. MJESEC

HELIOCENTRIČNO GIBANJE MJESECA. Heliocentrična nauka promijenila je sliku o gibanju Mjeseca, koju je imao geocentrični sistem, u dva pogleda:

a) Mjesec se giba doduše oko Zemlje, kao što je naučavao i geocentrični sistem, ali kako se po heliocentričnom sistemu Zemlja giba oko Sunca, Mjesec se također zajedno sa Zemljom giba oko Sunca;

b) putanja Mjeseca oko Zemlje je elipsa, njegovo je gibanje oko Zemlje pod utjecajem gravitacije Zemlje, te se pokorava Keplerovim zakonima.

Kako Mjesec prema tome vrši istodobno dva gibanja, opisujući elipsu maloga promjera oko Zemlje u sideričnom mjesecu, a istodobno elipsu 400 puta većeg promjera u jednoj godini oko Sunca, to bismo lako pomislili, da će njegova rezultantna putanja biti vrlo vijugasta. Međutim velika razlika između promjera obiju elipsa čini, da Mjesečeva putanja oko Sunca u cjelini ne odstupa mnogo od elipse (Sl. 93.).



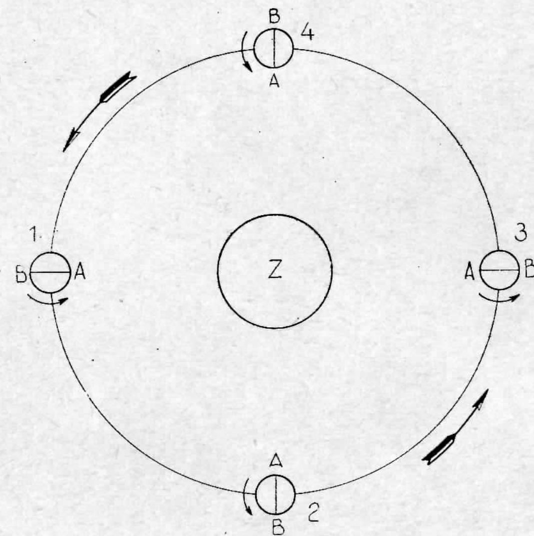
Sl. 93

Mali krugovi na slici 93 predstavljaju putanju Mjeseca oko Zemlje. Putanja Mjeseca oko Sunca (na slici 93 izvučena crta) vrlo je blizu elipsi Zemljine putanje (na slici 93 isprekidana crta) i uvijek prema Suncu konkavna.

Putanja Mjeseca oko Zemlje je elipsa malog ekscentriciteta (0,055). Srednja udaljenost Mjeseca od Zemlje ili poluos eliptične mu putanje iznosi 384 000 km (= 60,3 Zemljinih polumjera), što odgovara horizontalnoj paralaksi (gl. IV. 2.) od 57′. Kako Zemlja stoji u jednom žarištu elipse, ima položaj na putanji, kad je Mjesec Zemlji najbliži, *perigej*, i položaj, kad je najudaljeniji, *apogej*. Udaljenost Mjeseca od Zemlje u perigeju iznosi 363 000 km, a u apogeju 405 000 km.

Ravnina Mjesečeve putanje ima prema ravnini ekliptike nagib od približno 5°. Zbog toga se Mjesec može na nebu udaljiti od ekvatora za približno 5° više nego Sunce, te dostigne najveću sjevernu i južnu deklinaciju od blizu 29°. Pravac, u kom se sijeku ravnine Mjesečeve putanje i Zemljine putanje (ekliptike), je pravac *čvorova*.

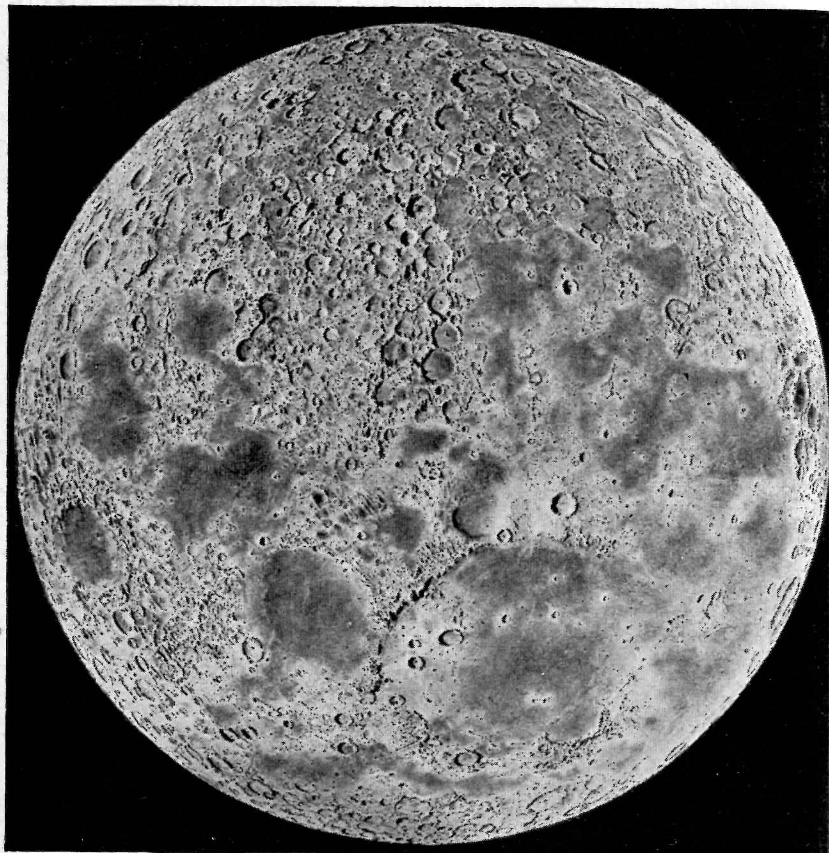
ROTACIJA MJESECA. Već se malim dalekozorom, pa i prostim okom vidi, da nam Mjesec *pokazuje stalno istu stranu*. Krivo bi bilo iz toga zaključiti, da se Mjesec ne vrti. Što on Zemlji okreće stalno istu stranu, znači, da onaj njegov promjer (Sl. 94., *AB*), koji ide sredinom *A* njegove sa Zemlje vidljive pole,



Sl. 94

produžen stalno ide kroz Zemlju *Z*, u koji god položaj prema Zemlji došao tokom svog ophoda. Ali tko bi gibanje Mjeseca oko Zemlje gledao sa Sunca (na sl. 94 iz velike daljine s desna), ne bi vidio uvijek istu stranu Mjeseca, nego bi točku *A* vidio u središtu vidljive pole Mjeseca, kad je Mjesec u položaju 1, u položaju 2 ona bi mu na desnom rubu iščezla, kod 3 vidio bi baš

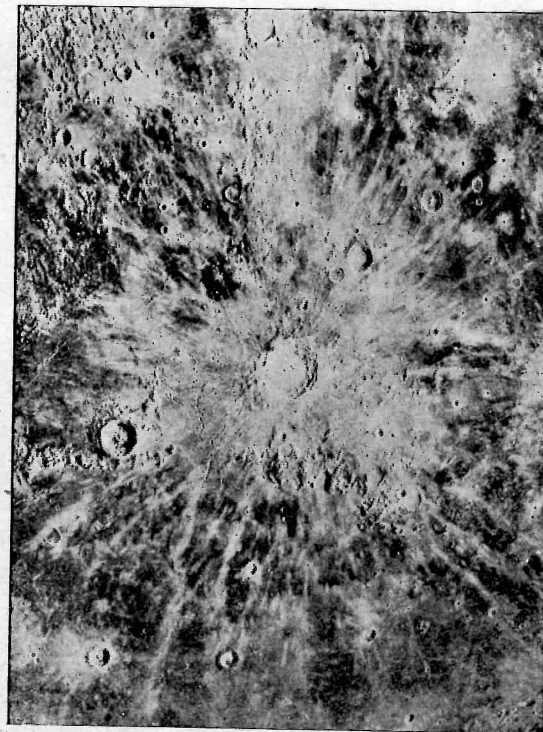
dijametralno suprotnu točku *B*, kod 4 mu se točka *A* pojavljuje opet na lijevom rubu, a kad bi se Mjesec iza sideričnog mjeseca (27 dana) vratio opet u položaj 1, točka *A* opet je u središtu. Za motritelja na Suncu Mjesec se dakle vrti i izvrši jedan okretaj baš u 1 sideričnom mjesecu. Prema tome: *Mjesec ima rotaciju, a trajanje jednog okretaja jednako je vremenu jednog sideričnog ophoda oko Zemlje.*



Sl. 95. Pregledna karta Mjeseca, južni pol gore, sjeverni dolje (K. Andjel, Prag)

Točnija opažanja pokazala su, da nam Mjesec pokazuje i nešto preko jedne polovice svoje površine, povremeno se vidi s lijevog i desnog ruba, pa gore i dolje nešto malo i od stražnje strane. Ova se pojava zove *libracija* Mjeseca.

PRIRODA MJESECA. *Prividni promjer* Mjeseca, kad je u srednjoj udaljenosti od Zemlje, iznosi 31′. Iz prividnog promjera i paralakse Mjeseca (57′) naći ćemo, da je njegov promjer 3480 km, što iznosi nešto više od ¼ Zemljina promjera. Masa Mjeseca je 82 puta manja od Zemljine mase, a gustoća 0,6 Zemljine gustoće.



Sl. 96

Albedo Mjeseca vrlo je malen, od njega se odbija samo 7 postotaka Sunčeve svjetlosti. Mjesec nema nikakve *atmosfere,* bar se dosada nije ni po kojoj pojavi mogao pronaći kakav trag atmosfere na Mjesecu. Da na Mjesecu nema atmosfere, vidi se među ostalim i po tom, što izbočine njegove površine bacaju oštre i potpuno tamne sjene, što je njegov rub, kad on kod pomrčine zastire Sunce, potpuno oštar, što se ne opaža ni najmanji trag loma svjetlosti u blizini Mječeve površine, kad on zastire Sunce ili koju zvijezdu stajačicu.

Na *Mjesečevoj površini* vidi se dalekozorom kudikamo više pojedinosti nego na ikojem drugom nebeskom tijelu. Pregled nama poznate polovice Mjesečeve površine, kako je vidimo na



Sl. 97

punom Mjesecu, pokazuje, da je površina Mjeseca vrlo gorovita (Sl. 95).

Ravni dijelovi prikazuju nam se tamniji i oni daju one tamnije pjege, koje i prostim okom vidimo na Mjesecu i koje mašta

slaže u čovječje lice sa očima, nosom i ustima. Ove veće ravni na Mjesecu prozvane su *morima,* ali su krivo nazvane, jer i te su ravni u krutom stanju, kako pokazuju stalni nabori na njima.

Gorja na Mjesecu rijetko čine gorske lance poput zemaljskih gorja, nego pokazuju karakteristične okrugle oblike (Sl. 96 i 97), pa se označuju kao *kružna gorja.* Naoko kružna gorja Mjeseca imaju sličnosti sa vulkanskim kraterima na Zemlji, pa su ih prije, naročito manje među njima, i nazivali kraterima. Međutim promjer ovih kružnih gorja zna iznositi i preko dvije stotine kilometara, pa su to tvorevine bez sumnje drugog porijekla nego krateri zemaljskih vulkana. Iz dužine sjene, koju bacaju, mogle su se visine gora na Mjesecu odrediti, neke se gore izdižu nad svojim podnožjem do 8000 m. Mjesec je dakle, uzevši u obzir njegovu veličinu, u svemu gorovitiji nego Zemlja. Na ravnima Mjeseca vide se *jaruge* (Sl. 96 i 97), koje kao da su neke pukotine. Na punom Mjesecu vidi se, da iz nekih velikih kružnih gorja izlaze zrakaste, *svjetlije pruge* (Sl. 96), koje, čini se, nijesu plastični oblici tla, nego se svode na neku razliku u sastavu tla.

Sl. 96. pokazuje kružno gorje Kopernik sa okolicom, sa jarugama i zrakastim svjetlijim prugama (fotografija na velikom reflektoru Mt. Wilson-zvjezdarne). Sl. 97. pokazuje »More vedrina« lijevo dolje, zatim »More para« i »More kiša«, rastavljena gorskim lancem Apenina; uz More kiša (desno dolje) veliko eliptično gorje Arhimed, a u uglu lijevo gore jarugu Hyginus, lijevo od nje goru Bošković. (Iz pariskog fotografskog atlasa Mjeseca.)

Mjesečeva površina počela se odmah nakon prvih otkrića Galilejevih živo proučavati. Prvi je atlas Mjesečeve površine dao Hevel u svojoj »Selenografiji« već 1647.

Sunčev dan na Mjesecu iznosi 29½ naših dana, jer je jednak sinodičnom mjesecu. Prema tome se kruto tlo Mjesečevo na jednom mjestu grije neprestano gotovo 15 dana, ostaje zatim isto toliko u sjeni, a da se ogromne temperaturne opreke, koje tako nastaju, ne ublažuju djelovanjem atmosfere, ni njenom cirkulacijom. Mjerenja temperature na Mjesecu dala su u svijetlom dijelu do $+120^0$ C, u tamnom do -70^0 C.

Prije prve i poslije zadnje četvrti vidi se uz svijetli srp i ostali tamni dio Mjeseca osvijetljen slabom, sivkastom svjetlošću *(pepeljasta svjetlost).* Ova svjetlost je odsjev one rasvjete, koju Mjesec prima od osvijetljene Zemlje (Sl. 45.).

Kako je nastalo čudnovato kružno gorje na Mjesecu, o tom je bilo, a ima i danas različitih mišljenja. Kako je Zemlja tijelo mnogo veće mase, mora da je bila plima, što ju je Zemlja stvarala na Mjesecu, dok

je još bio dijelom tekuć, mnogo silnija nego plima na Zemlji, koju stvara Mjesec. To možemo zaključiti i po tome, što je rotacija Mjeseca tako spora. Čini se, da je Zemlja valom plime na Mjesecu toliko smetala njegovoj rotaciji, da se on u odnosu prema Zemlji uopće prestao vrtjeti. Kad se ohlađivanjem bila stvorila na Mjesecu tanka kruta kora, tekuća unutrašnjost još je mogla imati plimu i oseku, pa je usijana tekuća masa na mjestu plime provaljivala kroz koru i razlijevala se na sve strane. Kad bi poslije toga opet nastupila oseka, tekućina bi se opet vraćala u unutrašnjost, ostavljajući za sobom na površini skrutnuti kružni bedem kao biljeg, dokle se bila razlila. Centralni vrhunac, koji se nalazi često u sredini kružnih gorja, mogao bi obilježiti mjesto, gdje je užarena tekućina provalila, pa na povratku ostavila još jednu »kaplju« vani. Mi dakako ne možemo pouzdano tvrditi, kako se stvaralo gorje na Mjesecu, ta ne znamo to pravo ni za Zemlju. Nisu najzad ni morala sva kružna gorja, mala i velika nastati na isti način.

6. POMRČINE SUNCA I MJESECA

SJENA ZEMLJE I MJESECA. Iza svakog neprozirnog i tamnog tijela, kad je osvijetljeno od jednog izvora svjetlosti, ima prostor, u koji ne dopire svjetlost od izvora i koji se zove *sjena* dotičnog tijela. Tako i Zemlja i Mjesec, obasjani od Sunca, imaju svoje sjene.

Ako zamislimo od Sunca na Zemlju povučene sve vanjske zajedničke tangente *v* (sl. 98), onda one iza Zemlje ograničuju čunjasti prostor, kojemu je vrh u točki *V*, a u koji uopće ne dopire Sunčeva svjetlost. Taj na slici 98 tamno osjenjeni prostor je *sjena Zemlje*[1].

Mjesec, kružeći oko Zemlje, može da dođe u Zemljinu sjenu. Kako mu je promjer samo 0,27 Zemljinog, a daljina od Zemlje razmjerno malena, tako da prolazi kroz Zemljinu sjenu u njenom širokom dijelu, ostat će Mjesec i dulje u sjeni. Mjesec je tada za nas *pomračen* i mi ovu pojavu zovemo *pomrčinom Mjeseca.*

Mjesečeva sjena (Sl. 98) nije dovoljno duga, da dohvati vrškom Zemlju, ako se Zemlja nalazi u srednjoj udaljenosti od Mjeseca (60 Zemljinih polumjera). Međutim zbog ekscentričnosti Mjesečeve putanje oko Zemlje Mjesec dođe Zemlji i bliže, a najmanja mu udaljenost od Zemlje (u perigeju) iznosi 56 Zemljinih polumjera.

[1] Sunce i udaljenost njegova od Zemlje takve su veličine, da nije moguće crtati sliku ni u približno pravim omjerima. Ako damo polumjeru Zemlje dužinu od samo 1 mm, onda je promjer Sunca gotovo 22 cm, a udaljenost Sunca od Zemlje 24 metra!

Prema tome može u izvjesnim međusobnim položajima Sunca, Mjeseca i Zemlje vršak Mjesečeve sjene zahvatiti Zemlju. Ali je jasno, da će Zemlja presjeći samo krajnji dio sjene, tako da će u pomračeni prostor doći samo mali dio Zemljine površine.

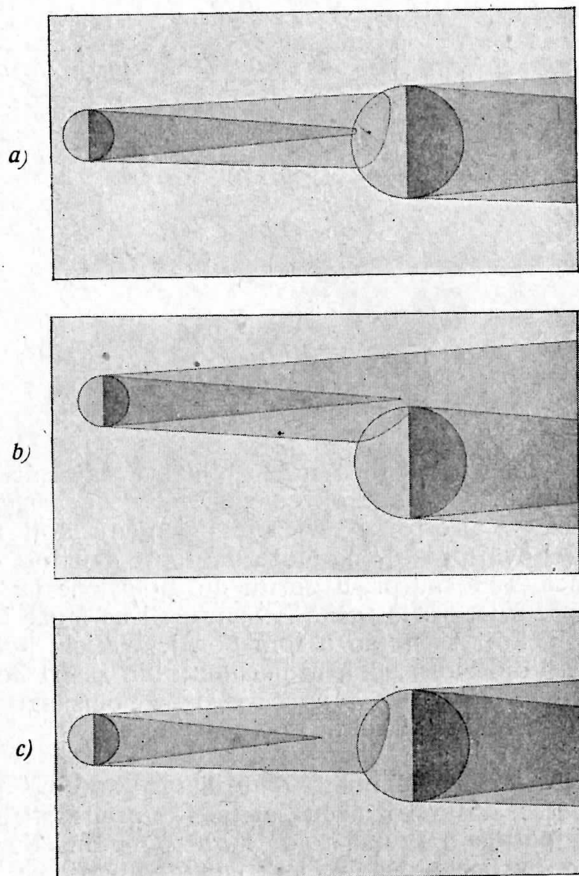
Sl. 98

Ako povučemo od Sunca na Zemlju sve zajedničke unutarnje tangente *u,* onda one oko sjene Zemlje ograničuju prostor (na slici 98. prostor *p* svjetlije osjenjen), koji zovemo *polusjenom.* U ovaj prostor ne može da dopre svjetlost od svih dijelova Sunca. Tako na pr. u gornji dio polusjene na slici 98 može da dopre svjetlost iz točke *A* Sunca, ali ne može iz točke *B*, a motritelj, koji bi stajao u tom gornjem dijelu polusjene, vidio bi gornji dio Sunca, dok bi mu donji bio zastrt Zemljom.

Isto tako imamo i oko Mjesečeve sjene polusjenu, u koju dopire svjetlost samo od nekih dijelova Sunca.

POMRČINE SUNCA. Pomrčinom Sunca zovemo pojavu, kad nam Mjesec, došavši između Zemlje i Sunca, zastire Sunce djelomice ili potpuno. Prema tome može pomrčina Sunca nastati samo za vrijeme mlađa, jer tada dođe Mjesec između Sunca i Zemlje. Razmatranje o Mjesečevoj sjeni poučilo nas je, da Sunce ne može nikad biti zastrto za svu Zemlju, već samo za neke male dijelove Zemljine površine, koje zahvati Mjesečeva sjena. Prema tome, kako Mjesečeva sjena zahvati površinu Zemlje, može pomrčina biti trovrsna:

a) *totalna* ili *potpuna* pomrčina Sunca nastane za ona mjesta Zemlje, koja dopru u čunjastu potpunu sjenu Mjeseca (Sl. 99, a), jer u taj prostor ne dopre ni od koje točke Sunca svjetlost, a za gledaoca iz ovog područja Sunce je potpuno zastrto Mjesecom;



Sl. 99

b) *parcijalna ili djelomična* pomrčina Sunca nastane za ona mjesta Zemlje, koja su u polusjeni (Sl. 99 b), jer iz njih se vide jedni dijelovi Sunca, a drugi se ne vide. Iz ovih mjesta vidjet će se od Sunčeve ploče veći ili manji srpoliki dio;

c) ako Zemlja dođe u spojnicu središta Sunca i Mjeseca, ali je toliko udaljena, da je ne zahvati ni krajnji vrh Mjesečeve sjene (Sl. 99 c), onda nastane *prstenasta pomrčina* Sunca, kod koje je Mjesecom zastrt srednji dio Sunčeve ploče, ali se naokolo vidi od Sunca svijetli kolut (prsten).

Da bi nastala pomrčina Sunca, mora Mjesec u fazi mlađa doći vrlo blizu ravnini ekliptike, jer tada će i Mjesečeva sjena biti blizu ekliptike, pa može pasti na Zemlju. Mjesec radi nagiba svoje putanje redovno u fazi mlađa nije u ravnini ekliptike, nego će biti samo onda, ako mlađ nastupa u jednom čvoru Mjesečeve putanje (gl. IV. 3).

Potpuno pomračena, okrugla pjega na Zemlji, za koju nastaje totalna pomrčina Sunca, ne ostaje na istom mjestu Zemlje, jer se i Zemlja i Mjesec gibaju. Ta pjega prelazi po jednoj krivoj pruzi (pojas totaliteta) preko Zemljine površine od zapada prema istoku, sve dok Zemlja i Mjesec toliko odmaknu na svojim putanjama, da Mjesečeva sjena više ne seže do Zemlje. Najveće će na Zemlji biti područje totalne pomrčine, kad je Mjesečeva sjena najdulja, a Zemlja Mjesecu najbliža, a to je, kad je u vrijeme pomrčine Zemlja u afelu, a Mjesec u perigeju. Račun nam pokazuje, da najveći promjer, što ga može imati pomračena pjega na Zemlji, iznosi *264 km,* t. j. nešto više od 2 lučna stupnja na Zemlji. Iz kutnih brzina Zemlje i Mjeseca može se izračunati, da je najveće moguće trajanje totalne pomrčine na jednom mjestu oko 7½ minute, ali su već totalne pomrčine, koje na jednom mjestu traju 6 minuta, vrlo rijetke.

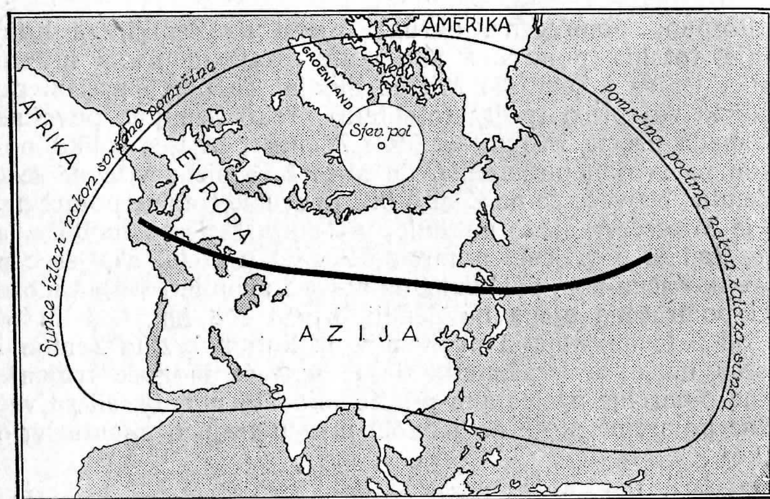
Na slici 100 vidi se pojas totaliteta kod totalne pomrčine Sunca 19. juna 1936. (debela linija) i cijelo područje Zemlje, u kom se ova pomrčina vidjela u bilo kojem obliku.

Parcijalna pomrčina Sunca može se vidjeti iz onih mjesta Zemlje, koja su u polusjeni Mjeseca. Polusjena ima dakako mnogo veći presjek nego sjena, pa se parcijalna pomrčina vidi iz mnogo većeg područja Zemlje nego totalna ili prstenasta.

Područje na Zemlji, u kom se uopće može vidjeti jedna pomrčina, ograničeno je najzad vremenima izlaza i zalaza Sunca (Sl. 100). Za najzapadnija mjesta Sunce upravo izlazi, kad je pomrčina dovršena, za najistočnija pomrčina upravo bi počela, kad Sunce zalazi.

*

POMRČINE MJESECA. Pomrčina Mjeseca nastaje, kad Mjesec uđe u sjenu Zemlje. Da bi Mjesec mogao zaći u sjenu Zemlje, mora Zemlja biti između Sunca i Mjeseca, Mjesec dakle u opoziciji. Pomrčine Mjeseca mogu se prema tome zbiti samo, kad je *uštap* ili *pun Mjesec*. Ali opet ne će biti pomrčina Mjeseca pri svakom uštapu, nego samo onda, kad je Mjesec dovoljno blizu ravnini ekliptike, tako da ga Zemljina sjena, koja pada uvijek u ravninu ekliptike, može zahvatiti. Mjesec dakle mora pri uštapu biti u blizini čvorova svoje putanje. Ako je pun Mjesec toliko udaljen od ravnine ekliptike, da ne uđe cio u sjenu



Sl. 100

Zemlje, nego samo jednim dijelom, onda se ne pomrači cijela njegova ploča, nego samo jedan njegov sad manji, sad veći dio, pa je pomrčina Mjeseca parcijalna. Ako Mjesec uđe cio u Zemljinu sjenu (ona ima u daljini od 60 Zemljinih polumjera od Zemlje gotovo $2\frac{1}{2}$ puta veći promjer nego Mjesec), onda nastane totalna pomrčina Mjeseca. Vrijeme dok Mjesec prođe kroz Zemljinu sjenu, t. j. trajanje cijele pomrčine od prvog do zadnjeg dodira Mjeseca sa Zemljinom sjenom, iznosi u povoljnim prilikama i više od 3 sata. Totalna pomrčina može da traje i preko 1 sat.

Vidljivost totalne i parcijalne pomrčine Mjeseca nije poput pomrčine Sunca ograničena na određena područja Zemlje, koja imaju zgodan položaj, nego se *pomrčina Mjeseca vidi istodobno iz svih mjesta Zemlje, iz kojih se u to doba uopće vidi Mjesec*, kojima je dakle Mjesec nad horizontom.

Kad Mjesec o uštapu prođe samo kroz polusjenu Zemlje, a sjene se i ne dotakne, onda je učinak na rasvjeti Mjeseca tako neznatan, da se i ne zapaža, pa se to i ne broji kao pomrčina Mjeseca.

Mi bismo očekivali, da će Mjesec kod totalne pomrčine za naš vid potpuno iščeznuti sa neba, jer ako je potpuno u sjeni, on ne prima svjetlosti od Sunca, pa se ne bi mogao vidjeti. Međutim u stvari Mjesec ne iščezne kod totalne pomrčine Mjeseca, nego se vidi u zagasito crvenoj svjetlosti. To dolazi odatle, što se Sunčeva svjetlost u atmosferi Zemlje lomi. Slomljene zrake, koje su prošle kroz Zemljinu atmosferu, ulaze u prostor, koji zaprema Zemljina sjena, i njima je osvijetljen Mjesec kod totalne pomrčine. Ta svjetlost je crvenkasta, jer je Zemljina atmosfera mutna od tekućih i krutih čestica, koje u njoj lebde, iz istog uzroka dakle, zbog kojeg nastaje jutarnje i večernje rumenilo.

ČESTINA I PERIOD POMRČINA SUNCA I MJESECA. Kako se i Zemlja i Mjesec pravilno gibaju na svojim putanjama, moraju se s nekom pravilnošću ponavljati i oni međusobni položaji Sunca, Zemlje i Mjeseca, koji su uvjet pomrčina. Račun, koji uvažuje sve uvjete pomrčina, pokazuje, da ne može biti godine, a da ne nastane ni za koju točku Zemlje pomrčina Sunca, dok može biti godine, u kojoj nema pomrčine Mjeseca. Najmanji broj pomrčina u jednoj godini su *dvije*. Ako u jednoj godini nastupaju samo dvije pomrčine, onda su obje pomrčine Sunca. Najveći broj pomrčina u jednoj godini je *sedam*, a od njih su najmanje četiri pomrčine Sunca.

Već iz prastarih vremena poznat je period, prozvan *Saros*, koji obuhvata 18 godina i 11 dana, a poslije kojeg se uvijek vraća pomrčina Sunca ili Mjeseca približno istog oblika.

U 20. stoljeću na cijeloj je Zemlji svega 80 totalnih pomrčina Sunca. Na istom mjestu Zemlje može se totalna pomrčina Sunca vidjeti prosječno svakih 200 godina.

Pomrčine su se bilježile već u prastaro doba, kitajske i haldejske bilješke starije su od 2000 g. pr. n. e. i vrlo je rano otkrito i periodično ponavljanje pomrčina. Prva totalna pomrčina Sunca, kojoj je tok bio točno unaprijed proračunat i koja je znanstvenim metodama proučena, bila je 1842., vidljiva u Francuskoj, Sjev. Italiji i Austriji; tada su otkrite i protuberance.

7. KOMETI I METEORI

A) Kometi

OPIS KOMÉTA. Od svih nebeskih tijela, kója se vide na noćnom nebu, od vajkada su na čovjeka posmatrača najjače djelovali svojom neobičnom pojavom *kometi* ili *zvijezde repatice*. Ova su nebeska tijela dobila svoje ime po tom, što u najsjajnijim pojavama imaju svijetao rep, koji zna da bude tako dug, da zahvaća dobar dio neba. Ali nemaju svi kometi repa, niti ga oni, koji ga imaju, imaju na cijelom svom putu. Kad je još daleko od Sunca, komet se vidi redovno samo dalekozorom kao okrugla ploča slabe svjetlosti i mutnog ruba, a u njenoj sredini se katkad vidi i nešto svjetlija jezgra. Magloviti plašt, koji opkoljava jezgru, zove se *koma* (kome, grč. = kosa, kometes = kosmat). Jezgra sa komom čini *glavu* kometa. Iz glave izlazi svijetli *rep* kometa, koji je različitog oblika: lepezast, prugast, prav, svinut, rascjepkan u trake i dr. (Sl. 102. i 103). Kad se komet na svojoj putanji približava Suncu, jezgra postaje sve svjetlija, rep sve veći i svjetliji, a *smjer repa uvijek je okrenut od Sunca*. Kad se komet opet udaljuje od Sunca, rep postaje sve manji, glava tamnija, dok se u izvjesnoj daljini od Sunca komet najzad izgubi iz našeg vida. Kometi, koji se radi slabe svjetlosti vide samo dalekozorom, u većini slučajeva nemaju repa ili je vrlo kratak.

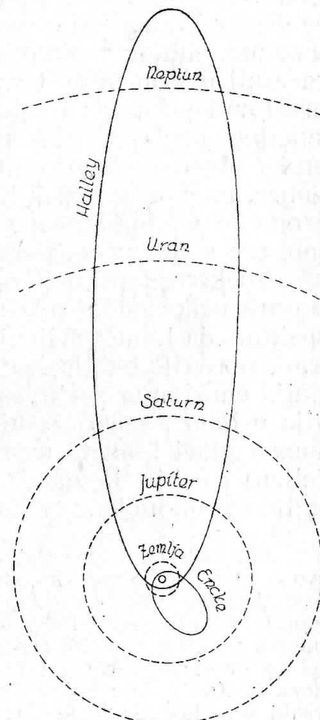
Kometi — izuzevši malo koji izvanredno svijetli — mogu se vidjeti samo noću. Oni prelaze među zvijezdama stajačicama prividnu putanju poput planeta, samo što ta prividna putanja nije vezana uz pojas ekliptike, pa se komet može naći svagdje na nebu. Komet sa onim zviježđem, u kom se nalazi, dnevnom vrtnjom izlazi, prelazi preko neba i zalazi. Kad komet prolazi pred zvijezdom stajačicom, onda je ne zastire potpuno, nego se *zvijezda vidi kroz kometovu glavu,* a pogotovo kroz rep. Iz toga se može zaključiti, da glava kometa nije jedno suvislo tijelo kao planet, nego da se ona sastoji od velikog broja odvojenih komada, između kojih može da prolazi svjetlost zvijezda. Kad glava kometa prođe u konjunkciji ispred Sunčeve ploče — a pojedini su takvi slučajevi pouzdano motreni — onda se niti vidi kometova glava, niti se na Sunčevoj ploči vidi i najmanji trag, da jedno tamnije tijelo prolazi pred njom.

HELIOCENTRIČNE PUTANJE KOMETA. Izračunavanje pravih putanja kometa pokazalo je, da se gibaju većinom po

elipsama, u kojih se jednom žarištu nalazi Sunce. Kometi su prema tome članovi Sunčeva sustava i njihovo se gibanje zbiva pod utjecajem Sunčeve gravitacije. Međutim eliptične se putanje kometa razlikuju od putanja planeta: *prvo* u tome, što ravnine kometskih putanja imaju velike kutove nagiba prema ravnini ekliptike, dok su planetske putanje manjeg nagiba; *drugo,* što su elipse kometskih putanja veoma razvučene.

Neke kometske putanje pokazale su u onom malom dijelu u blizini Sunca, u kojem se gibanje kometa uopće može motriti, osobine parabola i hiperbola, pa se iz toga zaključivalo, da ima kometa, kojima se putanja ne zatvara, koji se dakle samo jedamput zalete od nekud iz dalekog svemira u Sunčev sustav, zakrenu jednom oko Sunca i onda odlete opet iz Sunčeva sustava u nepovrat. Novija su istraživanja međutim pokazala, da su po svoj prilici sve kometske putanje eliptične, a paraboličnost i hiperboličnost dijelova putanja da je nastala samo perturbacijama velikih planeta.

Periodičnim kometima nazivamo danas one, koji imaju ophodna vremena na svojim eliptičnim putanjama razmjerno mala (manja od 100 godina), pa se mogu vraćati u blizinu Sunca u kraćem vremenu, a kod kojih je bar jedan povratak i doista utvrđen opažanjem. Takvih periodičnih kometa znamo danas 30.



Sl. 101

Od svih periodičnih kometa ima najkraće ophodno vrijeme, 3½ godine, Enckeov komet (Sl. 101.); on u perihelu dođe Suncu i bliže nego ikoji drugi periodični komet, perihel mu je unutar Merkurove putanje. — Najveće ophodno vrijeme između periodičnih kometa, 76 godina, ima Halleyev komet, koji ima perihel unutar Zemljine putanje (perihelna udaljenost od Sunca 0,6 Zemljine), a afel mu je onkraj Neptunove putanje, tako da mu velika os iznosi 18 promjera Zemljine putanje (Sl. 101.).

PRIRODA KOMETA. Masa kometa vrlo je malena, premda promjer razvijene glave kometa (jezgra sa komom) iznosi nekoliko Zemljinih promjera. Komet svojom masom ne proizvodi nikakve perturbacije, a sam podliježe velikim perturbacijama. Jedan se komet zaletio u sustav Jupiterovih satelita i nije se zapazila ni najmanja smetnja u gibanju tih razmjerno malenih nebeskih tijela.

Rep kometa nastaje vjerojatno na taj način, da se materija glave, kad se komet približava Suncu, jako ugrije. Pri tom će se dijelovi te materije ispariti, a plinovi, zatvoreni u krutim komadima, mogu velikim naponom, eksplozijom krute dijelove razasuti u sitni prah. Ova iz jezgre izbačena materija sačinjava magloviti plašt glave (komu). Fizikalna istraživanja uče, da svjetlost proizvodi tlak na tijela, na koja pada. Tlak Sunčevih zraka može kod vrlo sitnih čestica nadjačati privlačnu silu Sunca, pa će stoga tlak Sunčevih zraka odbijati materiju kome, i ona će udaljujući se od glave tvoriti rep kometa. Radi toga ima rep smjer produženja Sunčevih zraka preko glave kometa.

Spektroskopsko istraživanje svjetlosti kometa u skladu je s gore prikazanom prirodom kometa. U jednu ruku pokazuje spektar, da komet svijetli Sunčevom svjetlošću, koja se od njegove materije odbija, a u drugu ruku javljaju se u blizini Sunca linije emisionog spektra, koje pokazuju, da se plinovita materija usijala i sama ižaruje svjetlost.. Prema spektralnoj analizi ima u glavi kometa uz spojeve ugljika sa vodikom i dušikom (cijan) i nekih kovina (željeza, nikla), a u repu ima osobito ugljikova monoksida (CO).

Od svih kometa najglasovitiji je *Halleyev komet* (Sl. 102) i zbog svoje povijesti i zbog naročitog odnosa prema Zemlji. Halleyev komet je prvi, kojemu je utvrđena periodičnost, pa su njegovi naredni povraci mogli biti proračeni. Pokazalo se, da se cijeli niz historijski utvrđenih pojava kometa svodi na Halleyev komet, tako da je od god. 87. pr. n. e. pa do zadnje njegove pojave god. 1910. zapaženo 27 povrataka Halleyeva kometa. Kod zadnje pojave, kad je 20. aprila prošao kroz perihel, imao je veliki rep, koji je imao dužinu od 30 milijuna kilometara. Vidio se na nebu od jeseni 1909. do proljeća 1911. 19. maja 1910. bio je između Sunca i Zemlje i prošao je pred Sunčevom pločom, a nije se pri tom vidio niti komet, niti kakva pojava na Sunčevoj ploči. Po računu je tada Zemlja morala prolaziti kroz njegov rep. Međutim od tog očekivanog prolaza nijesu zapažene nikakve pojave. Moguće da je materija repa odviše rijetka, a da bi u našoj atmosferi mogla proizvesti kakvu pojavu, a moguće je i to, da je rep bio toliko svinut, da je ipak mimoišao Zemlju. Slijedeća pojava Halleyeva kometa očekuje se godine 1986.

Komet Biela ima ophodno vrijeme od 6,6 godine i vraćao se više puta. Kad je godine 1845. u jeseni opet viđen, nije još pokazivao ništa

osobita, ali u januaru 1846. glava mu se podijelila u dva dijela, koji su se onda dalje gibali po putanji u razmaku od 300 000 km. Kod iduće njegove pojave god. 1852. bio je razmak između dijelova mnogo veći, a poslije toga nije više nikad viđen. Čini se, da se rasuo u komade.

Haldejski astronomi , a po njima i neki grčki učenjaci imali su o kometima ispravno mišljenje, smatrajući ih nebeskim tijelima, koja putuju kao i planeti; štaviše, tvrdi se, da su Haldejci naučavali, da su kometi



Sl. 102. Halleyev komet 5. maja 1910. (fotografija Yerkes-zvjezdarne)

tijela, koja odlaze povremeno u vrlo daleke krajeve svemira, pa za nas iščeznu. Uza sve to je u starom i srednjem vijeku prevladalo mišljenje Aristotela, da su kometi pojave u zemaljskoj atmosferi. Čak se u Ptolemejevu »Almagestu« kometi uopće ne spominju. Praznovjerje, da je pojava kometa na nebu zlokobna, potječe iz najstarijeg doba, ona je navješćivala rat, kugu, poplave, potrese i glad. Tako je pojava Halleyeva kometa 1456., kad je bio vrlo blizu i Zemlji i Suncu, pa mu je rep zapremao 60° na nebu, preplašila i kršćansku i tursku vojsku pod Beogradom. Ova je pojava

najstarija astronomski pouzdano utvrđena pojava Halleyeva kometa. Istom je Tycho Brahe 1577. dokazao kosmičku prirodu kometa pokazavši, da im je paralaksa tako mala, da su svakako dalji od Zemlje nego Mjesec. E. Halley, učenik Newtonov, izračunao je 1705. iz motrenja putanje za 24 kometa i našavši, da se putanje kometa iz 1531., 1607 i 1682. podudaraju, zaključio je periodičnost po njemu prozvanog kometa, te prorekao njegov povratak za kraj 1758. ili početak 1759. To se i obistinilo, jer je komet Halley zaista opet viđen na Božić 1758.

Kada je novovjekoj astronomiji pošlo za rukom suzbiti onaj strah od kometa, koji se osnivao na praznovjerju, nastao je novi strah od kometa, koji se tobože osnivao na znanosti, strah, da Zemlji prijeti katastrofa od sudara sa kojim kometom. U 18. stoljeću još se raspravljalo o pitanju, što bi bila posljedica takvog sudara. Danas se ovo pitanje smatra bespredmetnim, jer je prvo vjerojatnost sudara Zemlje sa glavom kojeg kometa vrlo malena, a drugo takav bi »sudar« u najgorem slučaju bio uzrokom, da kroz nekoliko dana učesta padanje meteorita na Zemlju.

Nakon početnih Besselovih radova (1836.) dao je savremenu teoriju kometskih repova u svom životnom djelu ruski astronom Bredihin (1831.—1904.). Njegovu su teoriju kasnije razradili brojni ruski astronomi.

B) Meteori

METEORI I METEORSKI ROJEVI. U vedrim noćima često vidimo, kako iznenada iz jedne točke neba izbije zvjezdoliko svijetlo tijelo, brzo preleti preko neba i opet iščezne. Te pojave narod poznaje pod imenom *krijesnica* ili *zvijezda proletuša,* a u znanosti se zovu *meteori.*[1] Meteori svojim sjajem redovno ne premašuju svjetlijih zvijezda stajačica. Ali katkad preleti velikom brzinom tijelo tako silnog sjaja, da zna za trenutke rasvijetliti cijeli kraj; približavajući se poprima oblik plamene kugle, za kojom u zraku ostane, gdjekad i nekoliko minuta, svijetao trag. Ove sjajne pojave zovu se *bolidi.* Pojavu bolida prate često šumovi, a katkada se bolid kao eksplozijom uz tutnjavu rasprsne u komade, a potom zna da pada i po koji komad na Zemlju. Komade, koji padnu na Zemlju, zovemo *meteorskim kamenjem* ili *meteoritima.*

Katkada se meteori pojavljuju u osobito velikom broju. Ako putanje, koje oni tada prividno pređu na nebeskom svodu, produžimo unatrag, onda se ta produženja sastaju približno u istoj točki neba. Čini se dakle, kao da svi ovi meteori izbijaju iz jedne te iste točke neba. Takvo mnoštvo meteora, koji prividno izbijaju iz iste točke neba, zove se *meteorski roj,* a točka odakle meteori prividno izbijaju, zove se *radijant* tog meteorskog roja. U stvari radijant na nebu označuje samo smjer, odakle dolaze meteori jednoga roja relativno prema Zemlji, putanje meteora ne sijeku se u radijantu, nego su među sobom paralelne. Što te paralelne putanje prividno izlaze iz jedne točke, to je samo perspektivna pojava; slično nam se čini i za paralelne tračnice pravocrtnog kolosijeka, da se u daljini sastaju u jednoj točki. Meteorski se rojevi obično nazivaju po zviježđu, u kojem im se nalazi radijant. Već je iz starine poznato, da se pojedini meteorski rojevi pojavljuju u stanovito godišnje doba. Tako se roj *Sv. Lovrinca* ili *Perseidi* (radijant u zviježđu Perzeja) pojavljuje sredinom augusta, *Leonidi* (radijant u zviježđu Lava) sredinom novembra, *Andromedidi* (radijant u zviježđu Andromede) krajem novembra. Rojevi se međutim ne pojavljuju

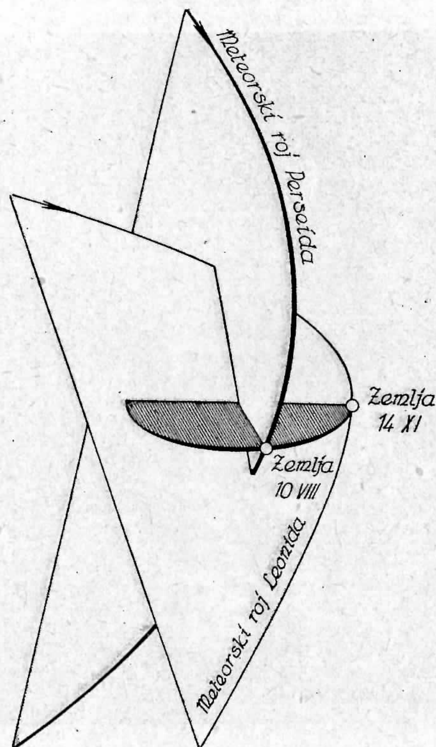
[1] grč. meteora, što se nalazi u visini, na nebu.



Sl. 103. Komet Morehouse 1908.
(fotografija zvjezdarne u Heidelbergu).

svake godine s jednakim mnoštvom meteora, a neki se rojevi uopće i ne javljaju svake godine.

Uz meteorske se pojave u starije doba vezalo mnogo praznovjerja, ali i znanost im je dosta kasno — istom u 19. stoljeću — utvrdila porijeklo i prirodu. Danas znamo, da se u Sunčevu sustavu uz planete i planetoide kreće po kojekako nepravilno



Sl. 104

raspoređenim putanjama mnoštvo malih tijela, koje pojedince, koje okupljenih u rjeđim ili gušćim kupovima, rojevima. Ova tijela dijelom pripadaju Sunčevu sustavu, dijelom potječu iz dalekog svemira. Ta se kruta tijela — *meteoriti* — mogu, kad Zemlja na svom godišnjem ophodu oko Sunca dođe u blizinu njihove putanje (Sl. 104.), zaletiti u Zemljinu atmosferu. Brzina kojom se meteoriti gibaju na svojoj putanji, vrlo je velika, cijeni se na prosječno 42 km u sekundi.

Kad se meteorit velikom brzinom giba kroz Zemljinu atmosferu, on zrak pred sobom silno stlači, a toplinom, koja se tim naglim stlačivanjem zraka razvije, meteorit se usija te zasvijetli. Trenutak, kad meteor postane za nas vidljiv, je onaj, kad se meteorit, ulazeći u atmosferu, dovoljno ugrije, da zasvijetli. Ako je meteorit malen, može se od visoke temperature pretvoriti u paru i tim iščeznuti, a to će biti sudbina većine meteorita. Veliki komadi održe se bolje, dopru i dublje u atmosferu i zasvijetle nam onda kao bolidi. Visina, u kojoj u atmosferi zasvijetle meteori, redovno je 100—150 km, ali znaju zasvijetliti i u visini preko 500 km.

VEZA IZMEĐU METEORSKIH ROJEVA I KOMETA. Iz onoga, što je rečeno o prirodi kometa, izlazi, da je *glava kometa kup meteorita.* Zapaženo je doista u više navrata, da se pojavilo mnoštvo meteora, kad je Zemlja na svom godišnjem putu prolazila u blizini putanje jednog kometa. Dogodilo se i to, da se komet, kojega putanja siječe Zemljinu, više nije pojavio u vrijeme, kad se prema utvrđenom ophodnom vremenu trebao vratiti, a umjesto njega se pojavio meteorski roj, za koji je nađena ona ista putanja, koju je imao nestali komet. Tako se našlo, da se meteoriti, koji daju meteorski roj Perseida, gibaju po istoj eliptičnoj putanji, po kojoj se gibao jedan komet iz god. 1862., a meteorski roj Leonida ima istu putanju kao jedan komet iz god. 1866. (Sl. 104.). Isto tako je radi podudaranja putanja vrlo vjerojatno, da je meteorski roj Andromedida nastao rasulom kometa Biela, koji se, kako je rečeno na str. 184., od godine 1852. više nije pojavio. Meteorski roj Draconida kreće se po putanji periodičnog kometa Giacobini-Zinner (radijant u Zmaju).

ZNAMENITI PADOVI METEORITA. Od znamenitih padova meteorita neka budu spomenuta samo tri:

God. 465. pr. n. e. pao je u Traciji kod Aigospotamosa željezni meteorit znatne veličine i ovaj je pad veoma utjecao na nazore starogrčkih učenjaka o prirodi nebeskih tijela.

26. maja 1751. pao je, nakon što je bolid preletio preko Njemačke, kod sela Hrašćine blizu Zagreba željezni meteorit u dva komada, od kojih je veći imao težinu od 40 kg. Ovaj znanstveno provjereni pad u naseljenom evropskom kraju zbio se baš u vrijeme, kad se o prirodi i porijeklu meteora mnogo raspravljalo. Na hrašćinskom meteoritu pronađene su god. 1808. prvi put t. zv. W i d m a n s t ä t t e n o v e figure, šare od pravaca, koje nastaju na poliranoj plohi meteornog željeza, ako na nju djeluje kiselina, i po kojima se meteorno željezo razlikuje od željeza zemaljskog porijekla.

30. juna 1908. pao je meteorit, valjda najveći, za koji se u historijsko doba zna, u nenaseljenom kraju Sibirije kod rijeke Kamene Tunguske. Ovaj meteorit prouzrokovao je svojim padom zemljotres, oborio i spalio je prašumu u krugu od 60 km, težina mu je prema procjeni (on se razbio i komadi se zabili u Zemlju) 130 tona.

Meteoriti se sastoje većinom od željeza i nikla, no ima meteorita i od drugih minerala.

Vezu između kometa i meteorskih rojeva utvrdio je poglavito G. Schiaparelli krajem 19. stoljeća. Kosmičko porijeklo meteorita, koji padaju na Zemlju, dokazao je prvi fizičar Hladni 1794.

ZODIJAKALNA SVJETLOST. Zodijakalna svjetlost pojavljuje se na istočnom horizontu prije izlaza, na zapadnom poslije zalaza Sunca. Ona ima oblik kosog trokuta, koji bazom počiva na horizontu, a zaobljenim se vrhom pruža u ekliptiku, u tropskim krajevima katkad i preko meridijana. Svjetlost ove pojave veoma je slaba i ne premašuje sjaja Kumovske Slame. Stoga se zodijakalna svjetlost i ne može vidjeti, kad ekliptika ima mali kut nagiba prema horizontu, jer se ta svjetlost gubi u mutnoj atmosferi horizonta. U tropskim se krajevima ekliptika uspinje strmo na horizontu, pa se zodijakalna svjetlost vidi u svakoj vedroj noći. U našim se krajevima zodijakalna svjetlost može vidjeti na večer u rano proljeće 1—1½ sata iza zalaza Sunca, a u jeseni 1—1½ sata prije izlaza.

Priroda i porijeklo zodijakalne svjetlosti nije još razjašnjeno. Po nekima bi to bio odsjev od mnoštva malih krutih tijela (meteorita), koja opkoljavaju Sunce, te čine neki plosnati kolut oko Sunca, koji je u ravnini ekliptike, a pruža se preko Zemljine putanje. Po drugima bi taj kolut svemirske prašine opasivao Zemlju slično kao Saturnov kolut.

V. DIO

ZVIJEZDE STAJAČICE I DALEKI SVEMIR

1. DALEKI SVEMIR

Ako u Sunčevu sustavu pođemo do krajnjih daljina, gdje ćemo još naći koje nama poznato tijelo ovog sustava, udaljit ćemo se od Zemlje kojih *40 astronomskih jedinica,* računajući kao astronomsku jedinicu srednju udaljenost Sunca od Zemlje (149,5 milijuna kilometara). Možda se koji dugoperiodični komet ili meteorski roj u afelu nalazi onkraj putanje najdaljeg planeta Plutona, možda ima onkraj Plutona još nebeskih tijela Sunčeva sustava. Ako bismo radi takve mogućnosti granice Sunčeva sustava pomakli još dalje u svemir, ostali bismo svakako još unutar 100 astronomskih jedinica.

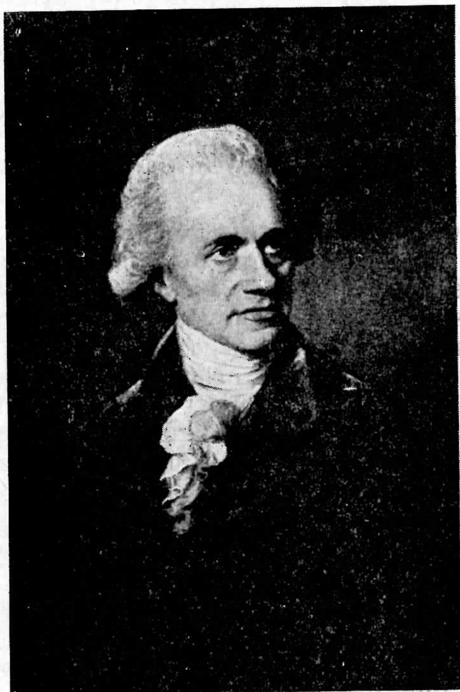
Kako god bila daleko nebeska tijela Sunčeva sustava, ipak vidimo, da se gibaju, da mijenjaju svoje mjesto na nebu. Te promjene mjesta možemo utvrditi i motriti zato, što na nebu vidimo veliki broj *zvijezda stajačica,* koje naoko ne mijenjaju međusobnog položaja. Dok smo se u IV. dijelu dosada opširno pozabavili pojavama u Sunčevu sustavu, koje su već zarana svratile pažnju ljudi na sebe, na naoko nepomičnu pozadinu tih pojava, nebo zvijezda stajačica, nijesmo mnogo pazili. Predmet idućih glava bit će nauka o zvijezdama stajačicama, s t e l a r n a a s t r o n o m i j a.[1]

Do druge polovice 18. stoljeća nije astronomska nauka zahvatila u daleki svemir zvijezda stajačica i njihovih sustava; Giordano Bruno je taj svijet idejno naslutio, ali se znanje o njem do tog doba nije znatno razvilo. Pretpostavljalo se, da su zvijezde stajačice žarka nebeska tijela poput našeg Sunca i da ima prema tome mnoštvo svjetova građenih po modelu Sunčeva sustava. Koja raznolikost nebeskih tijela i pojava postoji u dalekom svemiru, o tome se jedva što znalo.

---

[1] stella, lat. = zvijezda.

Prodor astronomije iz Sunčeva sustava u daleki svemir, iz interplanetarnog prostora u neuporedivo veće razmjere interstelarnog prostora izvršen je potkraj 18. stoljeća, on je najvećim dijelom zasluga Williama Herschela (1738.—1822.).



Sl. 105. William Herschel

William Herschel je od siromašnog muzičara kao samouk postao graditeljem tada najvećih reflektora i kasnije slavni astronom. Značajno je za razvoj tog velikog istraživača neba, da je već u toku prvog sistematičnog pretraživanja neba proširio granice Sunčeva sustava, preuzetog iz starog vijeka, otkrivši planet Uran, sedmi planet. Svojim je opsežnim radom Herschel udario temelje svima granama stelarne astronomije. Dokazao je vrijednost zakona gravitacije i u dalekom svemiru na gibanju dvojnih zvijezda, utvrdio gibanje cijelog Sunčeva sustava, sistematski proučavao svemirske maglice, istraživao i upoznao osnovne crte razmještaja zvijezda u galaktičkom sustavu.

Kako je 18. stoljeće bilo vijek nebeske mehanike Sunčeva sustava, tako je 19. stoljeće vijek stelarne astronomije, a u

20. stoljeću astronomija već proučava osnovne crte strukture čitavog svemira.

Proučavanje svijeta zvijezda stajačica pokazalo je, da su zvijezde stajačice tijela nalik na naše Sunce, da svijetle vlastitom svjetlošću, a mnoge su od njih sunca mnogo veća i žarkija od našega. Što nam sliku ovih ogromnih tijela ni najbolji dalekozori ne povećavaju, nego ona ostaju svijetle točke, što ta žarka sunca prividno tako slabo tinjaju, što prividno stoje nepomično, premda se i ona u stvari gibaju, i to često ogromnim brzinama — to je sve posljedica goleme udaljenosti od nas, u kojoj se nalaze. U toj golemoj udaljenosti iščezavaju velike dimenzije tih tijela, promjene mjesta zbog gibanja postanu za prosto oko primjetne istom u dugim razdobljima, duljim od ljudskog života. U toj bi daljini i naše Sunce tinjalo kao slaba zvijezda, a tamna tijela, koja oko njega kruže, bila bi potpuno nevidljiva.

Da shvatimo, kako su neuporedivo veće udaljenosti zvijezda stajačica nego dimenzije Sunčeva sustava, zamislimo se u slijedeće brojeve: vidjeli smo, da ne ćemo preći daljinu od 100 astronomskih jedinica, ni ako granice danas poznatog Sunčeva sustava podvostručimo — a *najbliža zvijezda stajačica udaljena je 275000 astronomskih jedinica.*

Ako zamislimo, da je naš planet, *Zemlja,* predstavljena malom kuglom, kojoj je polumjer 1 mm, pa smanjimo sve ostale dimenzije Sunčeva sustava i daljine zvijezda u istom omjeru, onda dobijemo ovu sliku:

Naš *Mjesec* stoji u udaljenosti od 6 cm, mogli bismo ga zajedno sa Zemljom obuhvatiti jednom šakom.

Sunce (kuglu promjera 22 cm) morat ćemo već smjestiti u jednu od susjednih kuća, jer je udaljeno 24 m.

Najudaljeniji planet Pluton nalazi se onda u daljini od 1 km, pa može još svakako da se smjesti u gradu, u kom živimo.

A *najbliža stajačica* dolazi u udaljenost od 6600 km, ona nema više mjesta ni u Evropi, nju moramo postaviti s one strane Atlantskog oceana u Kanadu. Ali tako bliskih zvijezda stajačica ima svega samo dvije, a nema više od deset, koje bismo mogli, smanjivši im udaljenost kako je gore rečeno, uopće smjestiti na zemaljskoj kugli.

Prostor, što ga zauzima u svemiru Sunčev sustav, *interplanetarni prostor,* je vrlo mali dio, jedna sitna ćelijica svemira. Stoga se često označuje interplanetarni prostor *bliskim svemirom.* Prostor, u kom su u ogromnim razmacima od nas i među

sobom razasute zvijezde stajačice, *interstelarni prostor*, nazivamo *dalekim svemirom*. Daleki svemir nema granica.

Proučavanje dalekog svemira dalekozorom i fotografijom iznijelo je na vidjelo, da i u dalekom svemiru postoji velika raznolikost nebeskih tijela. Glavni nebeski objekti dalekog svemira jesu ovi:

1. Zvijezde stajačice; one su složene u 88 zviježđa, od kojih je manji broj na sjevernoj hemisferi neba, veći na južnoj;
2. Sustavi zvijezda (dvojne zvijezde);
3. Jata zvijezda, koje imaju jednako gibanje;
4. Skupovi zvijezda;
5. Kumovska slama (Mliječni Put);
6. Maglice.

Nebeski objekti dalekog svemira obilježeni su bilo imenima, bilo oznakama.

O imenima i oznakama zvijezda stajačica bila je riječ već u glavi I. 1.

Skupovi zvijezda, jata zvijezda i maglice imaju ili posebna imena (kao skup *Plejada* ili *Vlašići*, jato *Hijada*), ili imena po zviježđu, u kom se nalaze (na pr. maglica u *Andromedi*), ili se pak označuju brojem znanstvenog kataloga, u kom su popisani, pa na pr. maglica u Andromedi nosi i oznaku M 31, što znači broj 31 Messierova kataloga. Prema velikom katalogu maglica i skupova zvijezda New General Catalogue i njegovu nastavku Index Catalogue dolaze još i oznake NGC ili IC.

2. VELIČINA ZVIJEZDA

Upotreba dalekozora i fotometrije u novovjekoj astronomiji proširila je i usavršila iz staroga vijeka preuzetu klasifikaciju zvijezda po prividnoj veličini (sjaju ili svjetloći), zadržavši pri tom njenu osnovu, po kojoj su prostim okom još vidljive zvijezde šeste veličine.

Budući da se dalekozorom vide zvijezde kudikamo slabije od zvijezda šeste veličine, a fotografska ploča otkriva zvijezde vrlo male svjetloće, produžio se niz veličina zvijezda znatno preko šest. Astronomija vodi danas računa o zvijezdama do *dvadesetiprve veličine*.

Pomoću fotometrije može se veličina zvijezda mnogo točnije odrediti, pa su na taj način veličine određene tako, da je *razlika dviju uzastopnih veličina stalna*. Za takvo određivanje veličina potrebno je, da *omjer količina svjetlosti*, koje primamo

od zvijezda dviju uzastopnih veličina, bude stalan, budući da čovječje oko tada osjeća stalnu razliku veličina. Prema novijim ispitivanjima, kao i prema najstarijim podacima o veličini zvijezda, sačuvanim u Ptolemejevu »Almagestu«, veličine su zvijezda utvrđene tako, da je *jedna zvijezda za jednu veličinu svjetlija od druge, ako od prve primamo 2 i pol puta veću količinu svjetlosti nego od druge*.

Pri tome treba dobro uočiti osobinu ove klasifikacije zvijezda, da je *veličina svjetlije zvijezde označena manjim brojem*. Što je dakle veći broj, kojim označujemo veličinu zvijezde, to slabije ona svijetli.

Od zvijezde pete veličine primamo otprilike $2\frac{1}{2}$ puta više svjetlosti nego od zvijezde šeste veličine; od zvijezde četvrte veličine $2\frac{1}{2}$ puta više svjetlosti nego od zvijezde pete veličine, dakle $2\frac{1}{2} \cdot 2\frac{1}{2}$ puta više nego od zvijezde šeste veličine. Prema tome je količina svjetlosti, koju primamo od zvijezde prve veličine $2\frac{1}{2} \cdot 2\frac{1}{2} \cdot 2\frac{1}{2} \cdot 2\frac{1}{2} \cdot 2\frac{1}{2} = ({}^5/_2)^5 = {}^{3125}/_{32}$ puta, t. j. otprilike 100 puta veća nego od zvijezde šeste veličine.

Točnije možemo te odnose izraziti u formuli ovako: neka su količine svjetlosti dviju zvijezda I_1 i I_2, prividne veličine m_1 i m_2; onda je

$$I_1 : I_2 = 2{,}512 \cdot 2{,}512 \cdots 2{,}512$$

t. j.

$$= (m_2 - m_1) \text{ faktora } 2{,}512$$

ili

$$I_1 : I_2 = 2{,}512^{\,m_2 - m_1)}.$$

Konstanta 2,512 odabrana je tako, da joj je dekadski logaritam 0,4. Dakle imamo logaritmiranjem

$$\log I_1 - \log I_2 = \log 2{,}512 \cdot (m_2 - m_1) = 0{,}4 \cdot (m_2 - m_1)$$

i obratno

$$m_2 - m_1 = 2{,}5 \cdot \log \frac{I_1}{I_2}.$$

Taj je zakon uveo Pogson 1856., a 2,512 kao konstantu je predložio 1857. G. Fechner je 1858. odatle izveo svoj poznati psihofizički zakon, da osjeti rastu u aritmetičkoj progresiji, ako podražaji rastu u geometrijskoj progresiji.

Slijedeća tablica pokazuje, kako se mijenja količina svjetlosti sa prividnom veličinom, ako uzmemo količinu svjetlosti, koju primamo od zvijezda 1. veličine, kao 100:

1. veličina	100	9. veličina	0,06
2. „	39,81	10. „	0,025
3. „	15,85	11. „	0,010
4. „	6,31	12. „	0,004
5. „	2,512	13. „	0,0016
6. „	1,000	14. „	0,0006
7. „	0,40	15. „	0,00025
8. „	0,16	16. „	0,00010

Na pr. za zvijezde sa 16 veličina razlike prividne veličine izlazi omjer količina svjetlosti 100 : 0,0001 = 1 000 000.

*

Upotrebom fotometrije mogu se sa sigurnošću odrediti i razlike veličine manje od 1, pa se veličine zvijezda određuju na 1 decimalu (desetinku) točno.

Kako ima nebeskih tijela, koja svijetle jače nego prosječno najsjajnije zvijezde stajačice, produžen je niz veličina zvijezda i preko prve veličine, te se veli, da zvijezda ima veličinu 0, ako je jačina njene svjetlosti 2½ puta veća nego zvijezde veličine 1, veličinu —1 (minus 1), ako je jačina njene svjetlosti 2½ · 2½ puta veća nego zvijezde veličine 1. Tako planet Venera u najvećem sjaju dostigne veličinu[1] —4,3, t. j. njena je svjetlost tada više nego 10 puta jača nego svjetlost najsjajnije zvijezde stajačice, Siriusa. U slijedećoj tablici nabrojene su najsjajnije zvijezde stajačice našega neba sa zviježđem, u kom se nalaze.

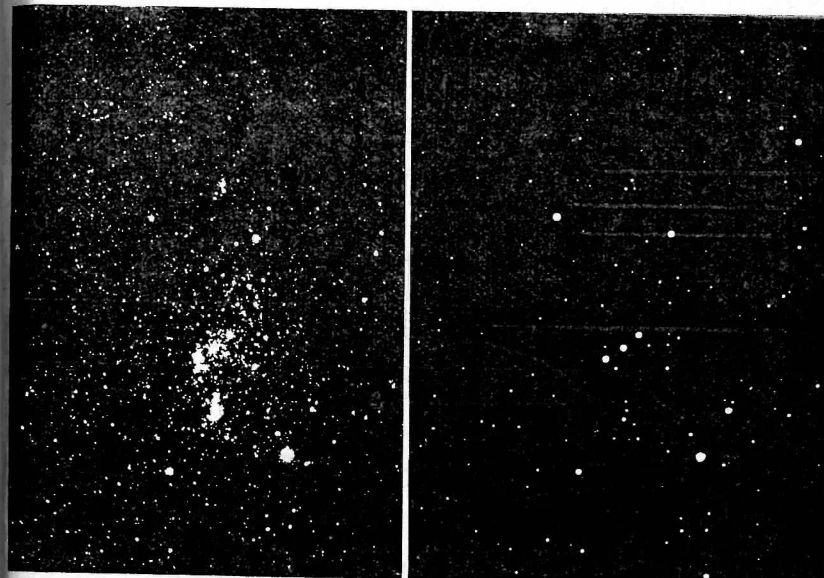
Ime zvijezde	Zviježđe	Veličina		Udaljenost godina svjetlosti
		prividna	apsolutna	
Sirius	Veliki Pas	—1,6	1,3	9
Vega	Lira	+0,1	0,5	25
Capella	Kočijaš	0,2	—0,6	49
Arcturus	Volar	0,2	—0,2	36
Rigel	Orion	0,3	—4,7	514
Prokyon	Mali Pas	0,5	2,9	10
Atair	Orao	0,9	2,4	15
Betelgeuze	Orion	0,9	—2,6	257
Aldebaran	Bik	1,1	0,0	54
Pollux	Blizanci	1,2	1,2	33
Spica	Djevica	1,2	—3,8	181
Antares	Škorpion	1,2	—1,4	154
Fomalhaut	Južna Riba	1,3	2,0	25
Deneb	Labud	1,3	—3,7	616
Regulus	Lav	1,3	0,2	56

BROJ ZVIJEZDA. Broj zvijezda, koje vidimo prostim okom, manji je nego što se obično misli, pa je daleko pretjerano, ako se veli, da ih je »bezbroj«. Zvijezda do uključivo šeste veličine ima na cijelom, sjevernom i južnom nebu okruglo 5000. Kako mi vidimo samo onu polovicu neba, koja je nad horizontom, to prema tome možemo u jednom času prostim okom vidjeti najviše 2500 zvijezda. Ali ako odbijemo zvijezde šeste veličine, jer ih vide samo ljudi oštra vida, onda ima samo 1500 zvijezda na cijelom nebu, a nad horizontom u jednom času samo 750.

Gledamo li nebo dalekozorom, onda broj zvijezda sa povećanjem dalekozora raste. Slika 106. prikazuje desno zviježđe Orion sa zvijezdama do šeste veličine, lijevo fotografiju istog zviježđa dobivenu dugom ekspozicijom na zvjezdarni Mt. Wilson. Brojenjem zvijezda u raznim dijelovima neba, gušćim i rjeđim, došlo se do procjene, koliko ima zvijezda, ako postepeno ubrajamo zvijezde svih veličina, kako nam ih otkrivaju dalekozori sve jačeg povećanja. Prema takvoj procjeni ima zvijezda stajačica do uključivo veličine 12 više od jednog milijuna, a zvijezda do uključivo veličine 21, najslabijih, koje se još razabiru današnjim sredstvima, ima 1 milijarda.

[1] Veličina u smislu svjetloće ne smije se zamijeniti sa prividnom veličinom (na pr. prividnim promjerom) Venere kao geometrijskog tijela.

Najstariji sačuvani katalog od 1020 zvijezda daje Ptolemejev »Almagest« oko 130. god., u kojem su zvijezde razdijeljene po prividnoj veličini u 6 razreda. Perzijski astronom Al-Sufi dao je 964. katalog od 1150 zvijezda. Kasnije su važnije kataloge dali Tiho Brahe 1590., pa Flamsteed 1700. za više od 3000 zvijezda. U novije doba dao je Argelander 1859. temeljni katalog od 320 000 zvijezda »Bonner Durchmusterung«, po kojem se često zvijezde označuju brojem i pokratom BD. Kasnije je izrađeno više odličnih fotometričkih kataloga sa točnim pozicijama zvijezda.

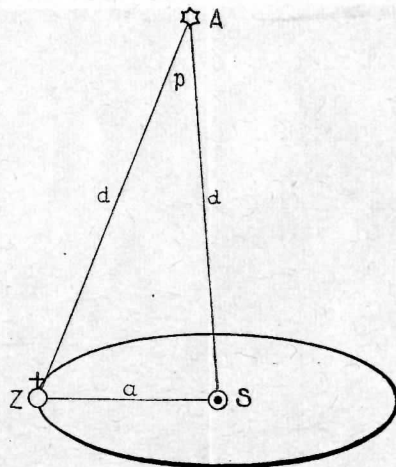


Sl. 106

3. UDALJENOST ZVIJEZDA

Radi revolucije (godišnjeg gibanja) Zemlje prividno se mjesto zvijezda stajačica na nebu mijenja za male iznose. Ovi mali pomaci u jednu ruku nam dokazuju, da se Zemlja zaista giba oko Sunca, u drugu ruku nam daju sredstvo, da odredimo

udaljenost zvijezda stajačica od Zemlje. Pod *paralaksom zvijezde stajačice* razumije se kut (Sl. 107. *p*), za koji bi se promijenio smjer, u kojem vidimo zvijezdu, ako bismo je, mjesto sa Zemlje iz jedne točke njene putanje, gledali sa Sunca. Paralaksa je ujedno kut, pod kojim bi motritelj iz dotične zvijezde vidio polumjer Zemljine putanje. Polumjer Zemljine putanje (srednja udaljenost Zemlje od Sunca) je dakle osnova pri mjerenju udaljenosti zvijezda stajačica (astronomska jedinica).



Sl. 107

Ako nam je paralaksa zvijezde poznata, onda jednostavnim računom dobijemo udaljenost zvijezde od Zemlje. Neka je na sl. 107 a = 149 500 000 km srednji polumjer Zemljine putanje, a u točki A se nalazi zvijezda, kojoj izmjerena paralaksa iznosi p kutnih sekunda. Kako su paralakse zvijezda stajačica vrlo mali kutovi (nijedna ne iznosi 1″), to je i udaljenost d zvijezde od Sunčeva sustava tako velika, da se razlika njenih udaljenosti od Sunca i Zemlje može zanemariti, trokut AZS uzeti kao istokračan, pa $ZS = a$ uzeti kao luk kruga sa središtem u točki A i polumjerom d, iako je ZS zapravo tetiva toga kruga. Onda radi razmjernosti luka i središnjeg kuta imamo

$$a : 2\pi d = p'' : 360.60.60''$$

$$2\pi d = \frac{1\,296\,000''}{p''} \cdot a$$

$$d = \frac{1\,296\,000''}{2\pi} \cdot \frac{a}{p''} = \frac{206\,265\,a}{p''} = \frac{30{,}8.10^{12}}{p''}\,km.$$

Malene paralakse zvijezda stajačica učinile su, da je istom u početku 19. stoljeća pošlo za rukom odrediti ih. Ali i danas je samo kod malog broja zvijezda stajačica moguće odrediti paralaksu direktnim mjerenjem kuta *p* (*»trigonometrijsku paralaksu«*). Pouzdano se mogu trigonometrijske paralakse odrediti, ako nijesu manje od 0,03″.

Kako vidimo iz gornje formule za *d*, udaljenosti zvijezda stajačica izražene u kilometrima iznose bilijune (10^{12}) kilometara. Stoga su za izražavanje udaljenosti zvijezda stajačica uvedene vrlo velike dužine kao jedinice, tako da mjerni broj izađe malen.

Starija jedinica je *godina svjetlosti*, t. j. *put, što ga svjetlost pređe u 1 godini dana.* Brzina svjetlosti je, kako znamo, 300000 km u sekundi. Prema tome svjetlost pređe u jednoj godini put $365{,}24 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 300000 = 9{,}5 \cdot 10^{12}$ km, t. j. blizu 10 *bilijuna kilometara.*

Novija jedinica za udaljenost zvijezda stajačica je *parsek* (složena od riječi »paralaksa« i »sekunda«). *1 parsek je udaljenost zvijezde, koja ima paralaksu jednaku* 1″. Parsek izražen u kilometrima dobijemo prema tome iz formule

$$d = \frac{30{,}8 \cdot 10^{12}}{p''}\,km.$$

ako uvrstimo p = 1″. Dakle je 1 parsek = $30{,}8 \cdot 10^{12}$ km ili okruglo *31 bilijun kilometara.* 1 parsek je više nego tri puta veći od 1 godine svjetlosti, on iznosi *3,26 godina svjetlosti.*

Ako računamo u parsekima, onda je prema gornjoj formuli

$$d = \frac{1}{p''}\,parsek.$$

Ako dakle jedna zvijezda ima paralaksu jednaku 0,1″, onda je ona udaljena 10 parseka ili 32,6 godina svjetlosti, a ako ima paralaksu na pr. 0,31″, onda je udaljenost (kao recipročna vrijednost paralakse) jednaka 100 : 31 parseka = 3,23 parseka = = 10,5 godina svjetlosti.

Trigonometrijska paralaksa mjerena je za otprilike 6000 zvijezda, ali samo ih je 40, kojima je paralaksa veća od 0,2″, udaljenost dakle manja od 5 parseka ili 16 godina svjetlosti. Navest ćemo danas poznatih *6 najbližih zvijezda stajačica* cijeloga neba s njihovom prividnom veličinom, paralaksom i udaljenošću, izraženom u parsekima i godinama svjetlosti.

Ime zvijezde	Prividna veličina	Paralaksa	Udaljenost	
			parsek	god. svjetl.
Proxima Centauri	11	0,765″	1,31	4,27
α Centauri	0,3	0,76″	1,32	4,30
Barnardova zvijezda	10	0,54″	1,85	6,01
Wolf 359	14	0,41″	2,44	8.0
Lalande 21185	8	0,40″	2,50	8,1
Sirius	—1,6	0,36″	2,78	9,0

Od ovih 6 najbližih zvijezda samo se dvije (α Centauri i Sirius) mogu vidjeti prostim okom, ostale su ispod šeste veličine. Na našem se nebu od ovih dviju vidi samo Sirius.

Prvu paralaksu zvijezde stajačice odredio je 1838. F. W. Bessel za zvijezdu 61 Labuda u iznosu od 0,35″. Ova je zvijezda bila odabrana za to mjerenje, jer je od svih tada poznatih imala najveće vlastito gibanje od 5″ godišnje. Gotovo istodobno odredili su paralakse W. Struve za Vegu (α Lire) i Henderson za α Centauri.

U tablici prethodne glave, u zadnjem stupcu navedena je udaljenost najsjajnijih zvijezda našega neba brojem godina svjetlosti i mi vidimo, da su mnoge od njih, iako su sjajne, veoma udaljene. Udaljenost im je tolika, da se nije ni mogla odrediti trigonometrijskom paralaksom, nego je određena po drugim metodama. Istina je doduše, da će nam se od dviju zvijezda, koje uistinu jednako svijetle, učiniti prividno svjetlijom ona, koja je bliža. Ali kriv bi bio zaključak, da su svjetlije zvijezde i bliže. Kolika je jačina svjetlosti, koju ižaruje jedna zvijezda, zavisit će i o njenoj stvarnoj veličini i o temperaturi, do koje je usijana. Od dviju zvijezda jednake temperature ižaruje više svjetlosti ona, koja je veća, jer ima i veću površinu, a od dviju zvijezda jednake stvarne veličine ižaruje više svjetlosti ona, koja je na višoj temperaturi.

Problem određivanja paralakse zvijezda je jedan od osnovnih problema stelarne astronomije. S jedne strane je utvrđivanje paralakse zvijezda najmoćniji dokaz za ispravnost heliocentričnog sistema, a s druge strane nam omogućuje, da upoznamo prave odnose u svemiru, pa time i strukturu svemira. Tako se problem određivanja paralakse provlači kao crvena nit kroz cijelu stelarnu astronomiju, te je bio glavnim poticajem za većinu novovjekih otkrića u tom području, sve do najnovijih rezultata o strukturi čitavog svemira. U svim slijedećim glavama naći ćemo stoga po jednu metodu određivanja paralakse, a time i udaljenosti zvijezda.

Kad se na osnovi nekog novog svojstva pronađe nova metoda određivanja paralakse, koja nas redovno vodi dalje u svemir, treba je uporediti sa prijašnjim rezultatima na onim objektima, kod kojih se može primijeniti još i jedna starija provjerena metoda. Taj postupak »baždarenja« novih metoda određivanja paralakse osobito je važan kod najnovijih metoda, kojima prodiremo najdalje u svemir. Ipak se sve te metode konačno osnivaju na direktno mjerenim trigonometrijskim paralaksama.

4. APSOLUTNA VELIČINA

Kad bismo sve zvijezde mogli porazmjestiti u svemiru tako, da su u jednakoj udaljenosti od nas, onda bismo po prividnoj veličini mogli zaključiti, koje su zvijezde uistinu svjetlije. Ako jednoj zvijezdi znamo udaljenost (na pr. iz trigonometrijske paralakse), onda iz njezine prividne veličine možemo izračunati veličinu, u kojoj bi nam se prikazala i u nekoj drugoj udaljenosti.

U stelarnoj se astronomiji uspoređuju stvarne svjetloće (veličine) zvijezda na taj način, što se zamisli, da su sve zvijezde smještene u udaljenosti od 10 parseka (t. j. tako da im je paralaksa 0,1″). Pod *apsolutnom veličinom razumije se ona veličina, u kojoj bi nam se prikazala zvijezda, kad bi bila u udaljenosti od 10 parseka.* Mi znamo iz prethodne glave, da ima malo zvijezda, koje su bliže od 10 parseka. Ovaj mali broj zvijezda bio bi po apsolutnoj veličini slabijeg sjaja nego po prividnoj, ali velika većina zvijezda bila bi po apsolutnoj veličini svjetlija nego po prividnoj.

Da vezu apsolutne veličine, prividne veličine i paralakse izrazimo formulom, moramo uzeti u obzir, da se količine svjetlosti, koje primamo od dvaju izvora svjetlosti jednake jačine, odnose obratno kao kvadrati udaljenosti. Ako su I_1 i I_2 količine svjetlosti dvaju nebeskih tijela, koja imaju istu stvarnu svjetloću, a nalaze se u udaljenostima r_1 i r_2, pa nam se prikazuju u prividnim veličinama m_1 i m_2, onda uz formulu $I_1 : I_2 = 2{,}512^{m_2 - m_1}$ vrijedi i $I_1 : I_2 = r_2^2 : r_1^2$, dakle $r_2^2 : r_1^2 = 2{,}512^{m_2 - m_1}$.

Uzmimo sad zvijezdu prividne veličine m i udaljenosti r parseka, t. j. paralakse $p'' = 1/r$. Ako je zamislimo smještenu u udaljenosti od 10 parseka, onda bi nam se prikazala u apsolutnoj veličini M. Prema tome slijedi iz gornje formule

$$10^2 : (1/p'')^2 = 2{,}512^{M-m}$$

ili logaritmiranjem $2 + 2 \log p'' = 0{,}4\,(M - m)$

dakle

$$M - m = 5 + 5 \log p'' \quad \text{ili} \quad M = m + 5 + 5 \log p''.$$

Pomoću ove osnovne formule možemo svakoj zvijezdi poznate paralakse i prividne veličine odrediti apsolutnu veličinu.

Da uporedimo Sunce, koje je najbliža nam zvijezda, sa drugim zvijezdama stajačicama, pitat ćemo se, kolika mu je apsolutna veličina. Ako se jačina svjetlosti Sunca pomoću fotometra uporedi sa jačinom svjetlosti neke zvijezde prve veličine, koja je Suncu po boji i spektru slična, na pr. Capella (α Kočijaša), onda se nađe, da Sunce približno $6 \cdot 10^{10}$ puta jače svijetli nego Capella. Ako je prividna veličina Sunca m, prividna veličina Capelle $m' = 0{,}2$ (vidi tablicu najsjajnijih zvijezda str. 196), onda je po formuli na str. 195

$$0{,}2 - m = 2{,}5 \cdot \log\ 6 \cdot 10^{10} = 26{,}9 \quad \text{ili} \quad m = 0{,}2 - 26{,}9 = -26{,}7.$$

To je prividna veličina Sunca. Ako u formuli na str. 198 za udaljenost *d* stavimo udaljenost Sunce—Zemlja *a*, onda dobijemo, da je *(godišnja)* paralaksa Sunca p″ = 206 265″. Prema tome je apsolutna veličina Sunca

$$M = -26{,}7 + 5 + 5 \log 206\,265 = -26{,}7 + 5 + 5 \cdot 5{,}3 = -26{,}7 + 5 + 26{,}5$$

ili

$$M = +4{,}8.$$

Ako bismo dakle premjestili Sunce u daljinu od 10 parseka (t. j. preko dva milijuna puta dalje), onda bi nam se pokazalo kao zvijezda okruglo 5. veličine.

Ako zvijezde stajačice razvrstamo po njihovoj apsolutnoj veličini, onda dobijemo niz od otprilike 22 veličine, počevši od apsolutno najsvjetlijih veličine —6 do apsolutno najslabijih veličine + 16.

Zvijezde apsolutnih veličina + 1, 0, —1, —2, —3, —4, —5, —6, koje su po apsolutnoj veličini najsvjetlije, zovu se *divovi* ili *giganti*, a među njima se zvijezde apsolutne veličine —3 do —6 često označuju kao *supergiganti*. Naprotiv se zvijezde apsolutne veličine + 2 do + 16 zovu *patuljci*.

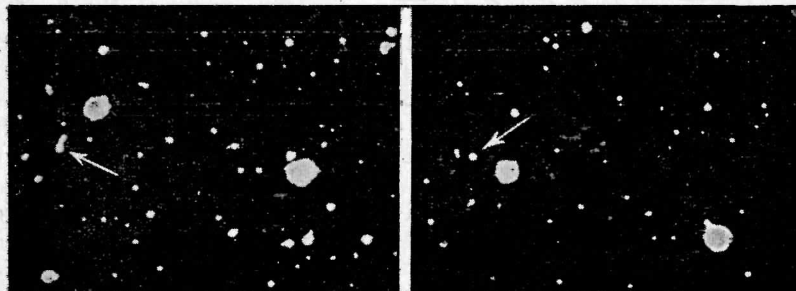
Tako su od najsjajnijih zvijezda našega neba, nabrojenih u gl. V. 2., po apsolutnoj veličini, koja je navedena u četvrtom stupcu, supergiganti zvijezde Rigel, Spica, Deneb; divovi su i Betelgeuze, Antares, Aldebaran, Capella, Arcturus i dr., dok je na pr. Prokyon patuljak. Patuljak je naše Sunce sa apsolutnom veličinom +5, patuljci su i većina nama najbližih zvijezda.

Uvođenje apsolutne veličine dobiva u stelarnoj astronomiji osobitu vrijednost time, što je često moguće apsolutnu veličinu zvijezde odrediti i onda, kada nam udaljenost zvijezde nije poznata, jer joj se trigonometrijska paralaksa nije mogla odrediti. U svim onim slučajevima, gdje se može apsolutna veličina zvijezde odrediti nezavisno o njenoj paralaksi, možemo iz apsolutne i prividne veličine zaključiti, kolika joj je paralaksa, a time naravno i udaljenost *(fotometričke paralakse)*.

5. GIBANJE ZVIJEZDA STAJAČICA

Ponovljenim točnim određivanjem položaja zvijezda stajačica na nebu pomoću njihovih rektascenzija i deklinacija našlo se, da mnoge zvijezde stajačice, iako vrlo polako, mijenjaju svoj položaj na nebu.

Iznos, za koliko jedna zvijezda stajačica promijeni položaj na nebu u jednoj godini, zove se njeno *vlastito gibanje*. Vlastito gibanje velike većine zvijezda je vrlo maleno. Daleko najveće vlastito gibanje ima *Barnardova zvijezda*, spomenuta već među najbližim zvijezdama. Njezino vlastito gibanje iznosi 10″ na godinu, ova zvijezda pređe dakle na nebu dužinu jednaku promjeru Mjeseca (½°) u 180 godina. Slika 108 prikazuje dvije fotografije



Sl. 108

Barnardove zvijezde sa susjednim zvijezdama, snimljene na Yerkes-zvjezdarni u razmaku od 22 godine (1894.—1916.); strelice pokazuju raniji i kasniji položaj Barnardove zvijezde. Ima samo 7 zvijezda, kojima je vlastito gibanje veće od 5″, a jedva 1 postotak zvijezda, kojima se vlastito gibanje uopće moglo odrediti (a tih je više tisuća), premašuje 1″ pomaka u godini dana. Ipak su vlastita gibanja tolika, da bi se oblici zviježđa u tisućama godina već primjetno mijenjali, pa bismo tu razliku i vidjeli, da su nam mogli na pr. haldejski zvjezdoznanci ostaviti fotografije ili vrlo točne crteže zviježđa.

Vlastito gibanje zvijezda, o kom smo dosada govorili, koje se očituje u promjeni njihove rektascencije i deklinacije, je okomito na smjer zrake doglednice, koja spaja naše stajalište sa zvijezdom. Ako se pak zvijezda giba u pravcu same zrake doglednice, onda od takvog gibanja — zovemo ga *radijalnim gibanjem* — ne nastane promjena prividnog mjesta zvijezde na nebu. Radijalno gibanje zvijezda može se međutim utvrditi i brzina mu izmjeriti pomoću *Dopplerova principa*. Zvijezde stajačice imaju, kako će biti izloženo u V. 6., spektre, u kojima ima tamnih (apsorpcionih) linija, gdjekad i svijetlih emisionih. Po odstupanju tih linija od normalnog položaja možemo zaključiti, da li i kojom se brzinom

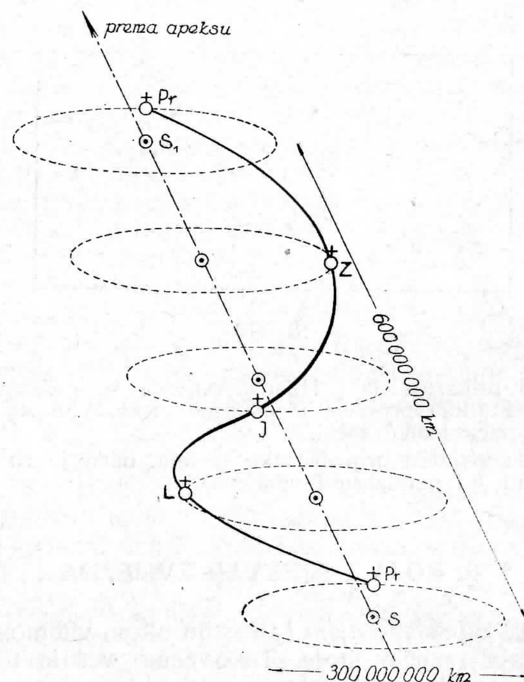
jedna zvijezda nama radijalno približava (odstupanje linija na ljubičastu stranu spektra) ili od nas udaljuje (odstupanje na crvenu stranu). Radijalne brzine određene su za velik broj zvijezda, među ostalim za sve zvijezde vidljive prostim okom. Kod nekih zvijezda znaju te brzine iznositi i nekoliko stotina kilometara u sekundi.

Mi smo sva gibanja u Sunčevu sustavu prikazali heliocentrički s pretpostavkom, da Sunce miruje. Mi znamo međutim, da je Sunce samo jedna među stotinama milijuna drugih zvijezda. Za tisuće zvijezda utvrđeno je, da imaju vlastito gibanje, a za druge smatramo, da sigurno ne miruju, nego da su samo previše udaljene, a da bismo im gibanje mogli zamijetiti u onom razmjerno kratkom vremenu, otkad se položaji točno određuju. Moralo se dakle držati vrlo vjerojatnim, da ni naše Sunce ne miruje potpuno, nego da se i ono, a zajedno s njim sva tijela Sunčeva sustava gibaju nekamo u dalekom svemiru. To se gibanje Sunčeva sustava mora očitovati u zapaženim gibanjima zvijezda. I zaista, pomnim proučavanjem gibanja zvijezda stajačica utvrđeno je, da u vlastitim gibanjima prevladava takav smjer, kao da se zvijezde od jedne točke u zviježđu Herkula na sve strane razilaze, a u radijalnim gibanjima prevladava smjer prema Suncu; na drugoj se strani neba zvijezde jednoj dijametralno suprotnoj točki (u blizini zviježđa Oriona) približavaju, dok kod radijalnih gibanja prevladava smjer od Sunca.[1] Ova pravilnost u gibanju zvijezda tumači se time, što se cijeli Sunčev sustav giba prema onoj točki u zviježđu Herkula i udaljuje od dijametralno suprotne točke kod Oriona. Točku neba, koja označuje smjer, u kojem se giba Sunce i njegov sustav, zovemo *apeks Sunčeva gibanja,* a dijametralno suprotnu, od koje se Sunce udaljuje, *antapeks.* Iz gibanja velikog broja zvijezda određen je položaj apeksa i antapeksa te brzina gibanja Sunčeva sustava prema apeksu. Apeks (u zviježđu Herkula) ima približno rektascenziju 270°, sjevernu deklinaciju 30°. Brzina gibanja Sunčeva sustava u smjeru apeksa je okruglo *20 kilometara u sekundi,* Sunce i njegov sustav pređu dakle u jednoj godini u svemiru put od 600 milijuna kilometara (4 polumjera Zemljine putanje). Slika 109 prikazuje, kako treba ova gibanja zamišljati: Sunce zajedno sa Zemljom prešlo je u 1 godini put SS_1, a Zemlja je u tom vremenu obišla jednom po elipsi oko

[1] Gibanje zvijezda je perspektivna pojava slična onoj, koju zapažamo, kad se krećemo u drvoredu: između drveta, kojima se primičemo, prividno se razmak povećava, a između onih, od kojih se udaljujemo, razmak se umanjuje.

Sunca, četiri njena glavna položaja obilježena su godišnjim dobama.

Iz ovog gibanja Sunčeva sustava slijedi, da je jedan dio zapaženog vlastitog gibanja zvijezda stajačica samo prividno gibanje, perspektivni učinak stvarnog gibanja našeg stajališta. Onaj dio zapaženog vlastitog gibanja, koji se svodi na gibanje



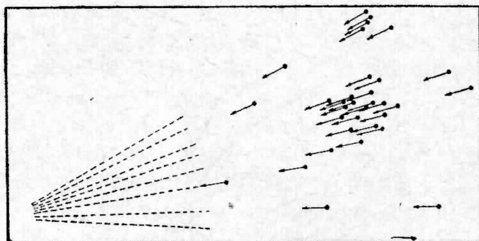
Sl. 109

cijelog Sunčeva sustava, zove se *paralaktično gibanje,* a što ostane od zapaženog vlastitog gibanja jedne zvijezde, ako izdvojimo paralaktično gibanje, zove se njeno *individualno* ili *pekuliarno*[1] *gibanje.* Iz paralaktičnog gibanja zvijezda možemo velikom broju zvijezda odrediti paralakse. To su t. zv. *sekularne* (stoljetne) *paralakse,* jer se određuju iz motrenja kroz dugi niz godina.

[1] pekuliarno = posebno (lat. peculium = osobina).

Vlastito gibanje zvijezda prvi je utvrdio E. Halley 1718. Prva sigurna radijalna gibanja odredio je vizuelno Keeler 1890. na Lick-opservatoriju, a H. C. Vogel 1892. fotografski. Gibanje Sunca prema apeksu izdvojio je iz vlastitog gibanja zvijezda i odredio apeks W. Herschel 1783.

Proučavanjem vlastitih i radijalnih gibanja zvijezda stajačica utvrđeno je, da postoje izvjesne grupe zvijezda, koje se odlikuju tim, što se u svemiru gibaju paralelno. To se očituje u tom, da im smjerovi gibanja naoko konvergiraju prema jednoj točki. Takve se grupe zvijezda zovu *jata*. Jedno od najznačajnijih jata te vrste jesu *Hijade (Hyades)* u zviježđu Bika.



Sl. 110

Slika 110 prikazuje jato Hijada, zvijezde su prikazane točkama, smjer gibanja kratkim pravcem iz odnosne točke. Vidi se, da smjerovi konvergiraju prema jednoj točki.

Ako jedna zvijezda pripada takvom jatu, onda je na osnovi toga moguće odrediti joj paralaksu i udaljenost.

6. BOJA I SPEKTAR ZVIJEZDA

Gledajući zvjezdano nebo i prostim okom vidimo, da zvijezde stajačice imaju različite boje. Tako ćemo već kod najsjajnijih zvijezda našega neba naći, da su na pr. Sirius, Vega, Atair bijeli, Capella žućkasta, Antares, Aldebaran, Betelgeuze crvenkasti. Mi znamo već iz gl. IV. 1., da boja zvijezde nije jedno njeno sporedno svojstvo, nego da je ona bez sumnje u uskoj vezi s njenim sastavom i sa stanjem, u kom se nalazi, osobito s njenom temperaturom. Određivanjem boje prostim okom dakako nije moguće utvrditi male razlike u boji zvijezda, a povrh toga oko je i zbog toga nepouzdano, što je vid pojedinih ljudi baš u pogledu prosuđivanja boja često pogrešan (sljepoća za boje). Najtočniji je način određivanja boje zvijezda, kako znamo iz gl. IV. 1., proučavanje spektra njene svjetlosti.

Spektar je poznat od ogromnog broja (oko 300 000) zvijezda stajačica. Kod proučavanja ovih spektara iskače jedna nadasve važna činjenica: kod velike većine, oko 99 postotaka svih zvijezda, kojima je poznat spektar, *spektar je po vrsti sličan spektru našega Sunca,* on se sastoji od manje više svijetlog *neprekidnog spektra,* u kom ima tamnih *apsorpcionih linija* (tabl. spekt. 5), koje odgovaraju Fraunhoferovim linijama Sunčeva spektra (gl. IV. 7.). Ova nam činjenica dokazuje, da su zvijezde stajačice doista tijela nalik na naše Sunce, da je naše Sunce prema tome zaista jedna između zvijezda stajačica.

Prema tome se zvijezde stajačice sastoje u velikoj većini od usijane jezgre, koja daje neprekidni spektar, a koja je opkoljena atmosferom usijanih plinova, u kojoj se apsorbiraju pojedine vrste svjetlosti i nastaju tamne linije.

Sve ove zvijezde, kojima spektar ima apsorpcionih tamnih linija, dale su se svrstati u 6 glavnih *spektralnih razreda,* koji su označeni redom slovima B, A, F, G, K, M[1]. Ova klasifikacija zvijezda po tipu spektra zove se po Harvard-opservatoriju u Sjevernoj Americi, gdje je izrađena, *Harvard-klasifikacija.*

Od karakteristika pojedinih Harvard-razreda spomenut ćemo, da su u razredu B izrazite apsorpcione linije helija, u razredu A linije vodika. Od razreda F dalje pojavljuju se u sve jačoj mjeri apsorpcione linije metala, napose u F razredu linije kalcija. U razredu G broj je metalnih linija veći, a naročito se javljaju linije željeza; spektar ovoga tipa ima i naše Sunce, a od najsvjetlijih zvijezda stajačica Capella. U razredima K i M javljaju se sve jači nizovi apsorpcionih linija nekih kemijskih spojeva, pa je time ljubičasti dio spektra oslabljen.

Prvu spektralnu klasifikaciju dao je A. Secchi 1863. Današnja Harvard-klasifikacija nastala je iz početnih radova E. C. Pickeringa 1890. prigodom izdavanja velikog Henry-Draper-kataloga zvijezda, a sadašnji oblik dobila je Harvard-klasifikacija uglavnom od Miss Cannon 1901.

Sa Harvard-razredima B, A, F, G, K, M nijesu iscrpljeni svi spektralni tipovi, ima još nekih rijetkih tipova. Kod razmjerno malog broja zvijezda stajačica spektar pokazuje *svijetle emisione linije* na pozadini neprekidnog spektra. Svijetle emisione linije znače, da svjetlost dolazi neposredno od usijanih plinova, da prema tome plinovi, koji sačinjavaju atmosferu tih zvijezda, imaju radi više temperature moć žarenja veću nego jezgra zvijezde, koja daje neprekidni spektar. Ove zvijezde sa svijetlim emisionim linijama označuju se oznakom e; osobito bijele takove zvijezde daju u Harvard-klasifikaciji jedan posebni razred označen sa

[1] Ovih je 6 slova ostalo iz jedne starije spektralne klasifikacije zvijezda, koja je imala sva slova, a iz koje su onda izdvojeni najznačajniji tipovi.

W, a označuju se i kao *Wolf-Rayet-zvijezde*. Bijele pak zvijezde s osobito svijetlim neprekidnim spektrom tvore razred O. Još ima nekih tipova (R, N, S) crvenih zvijezda, koji su vrlo rijetki.

Poseban tip čine *nove zvijezde* (gl. V. 9.), kojih spektar u kratkom vremenu pokazuje bitne promjene; spektar ovoga tipa označuje se slovom Q.

Emisioni spektar osobite vrste imaju i neke maglice (planetarne maglice, gl. V. 11.), a takav se tip spektra označuje slovom P.

TEMPERATURA ZVIJEZDA. Niz Harvard-razreda spektara razvrstava zvijezde stajačice i u pogledu *temperature*, na kojoj se nalaze, u niz tako, da su na najvišoj temperaturi zvijezde P, Q, W, O-razreda, a na najnižoj temperaturi M-zvijezde. Drži se, da na površini zvijezda pojedinih tipova vladaju otprilike ove srednje temperature:

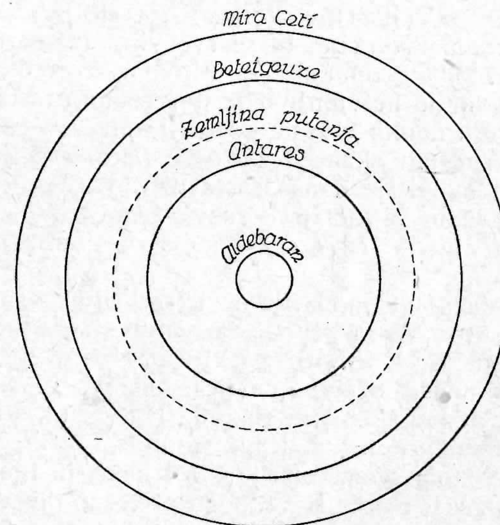
Razred O	temperatura	30 000° C
B		15 000° C
A		10 000° C
F		7 000° C
G		5 000° C
K		4 000° C
M		3 000° C

Najhladnije zvijezde, koje još vidimo, pripadaju razredu N, a temperatura im je oko 1 300°.

S temperaturom je, kako već znamo, u vezi i boja svjetlosti, koju zvijezda u cjelini ižaruje, pa su najbjelje zvijezde O-razreda, bijele su i zvijezde razreda B i A, zvijezde razreda F i G su bjelkasto-žute, a zvijezde daljih glavnih razreda K i M su crvenkasto-žute i crvene.

Kad se ispitivalo, u kojoj je vezi apsolutna veličina zvijezda sa njihovim spektrom (u t. zv. Russellovu dijagramu), pokazalo se, da su zvijezde u bijelim razredima B i A pretežno divovi, dok među zvijezdama žutih i crvenih razreda F, G, K, M ima i divova i patuljaka. Što može da znači ova činjenica? Mi znamo, da zvijezde istog spektralnog razreda imaju istu temperaturu i da o temperaturi zavisi i moć žarenja. Ako je dakle od dviju crvenih zvijezda, na pr. razreda M, jedna (div) apsolutno mnogo svjetlija od druge (patuljka), onda mora ona svjetlija ižarivati svjetlost iz veće površine, ona dakle mora i stvarno biti mnogo veća. Crveni divovi su dakle zvijezde mnogo većeg volumena nego crveni patuljci, a sličan je odnos i između žutih divova i žutih patuljaka.

Da su crveni divovi doista tijela ogromnih dimenzija, moglo se kod 7 zvijezda dokazati i direktno mjerenjem njihovog prividnog, a pomoću paralakse i pravog promjera.



Sl. 111

Slika 111 prikazuje krugovima tako određenu veličinu divova Aldebaran, Antares, Betelgeuze, Mira Ceti (gl. V. 8.) i radi poređenja Zemljinu putanju oko Sunca. Mi vidimo iz ove slike, da bi Antares, kad bi ga stavili na mjesto našega Sunca, dopro svojom površinom gotovo do Zemlje, a Betelgeuze postavljen na mjesto Sunca dopro bi gotovo do Marsa! No te veličine još nisu sasvim sigurne radi nedovoljno točnih paralaksa. Crveni divovi, iako su volumena znatno većeg nego patuljci, ipak ih ne premašuju toliko svojom masom. Ukoliko je pošlo za rukom ocijeniti mase zvijezda stajačica, pokazalo se, da one ne odstupaju vrlo mnogo od mase našega Sunca. Prema tome crveni divovi mora da su građeni od vrlo rijetke materije, a crveni patuljci od guste.

Divove i patuljke našao je prvi E. Hertzsprung 1905. Vezu spektralnih razreda i apsolutne veličine istražio je H. N. Russel 1913. i prikazao grafički u t. zv. Russellovu dijagramu. Direktno mjerenje promjera najvećih 7 zvijezda izvršeno je na Mt. Wilson-opservatoriju pomoću t. zv. interferometra A. A. Michelsona 1920.

Istraživanje spektara zvijezda pokazalo je, da se spektri zvijezda različite apsolutne veličine a istoga spektralnoga razreda razlikuju u izvjesnim karakterističnim pojedinostima, kao na pr. u jačini izvjesnih spektralnih linija. Na osnovi toga moguće je često iz spektra jedne zvi-

jezde naći priličnom točnošću, kolika je njena apsolutna veličina. Kako je prividna veličina poznata, može se iz apsolutne veličine naći udaljenost, odnosno paralaksa dotične zvijezde. Paralakse određene na taj način označuju se kao *spektroskopske paralakse*.

RAZVITAK ZVIJEZDA. Potkraj 19. stoljeća prodire i u astronomiju ideja evolucije, te se sve više razmatra problem razvitka zvijezda. Ogromnim napretkom astrofizike u 20. stoljeću ideja evolucije nesumnjivo je potvrđena u astronomiji, te se pred današnju nauku više ne postavlja pitanje, razvijaju li se zvijezde, nego samo, kako i zašto se tako razvijaju. Prema tome je ideja evolucije danas sastavni dio astronomije kao i svih nauka, a samo se teorije o razvitku mijenjaju u skladu sa pronalaženjem novih činjenica, one se sve više približavaju stvarnosti.

Na nebu danas vidimo zvijezde u različitim stanjima i temperature i gustoće. Ta različitost današnjih stanja zvijezda znači da se jedne nalaze još u ranijoj fazi razvitka, druge u kasnijoj, da su jedne »mlađe«, druge »starije«. Ovakvo gledanje dalo je osnovu, da se niz spektralnih razreda Harvard-klasifikacije tumači kao »*genetički*«[1] niz, t. j. niz stanja, kroz koja svaka zvijezda prolazi tokom svoga razvitka. Ali kako je lijevi kraj niza spektralnih razreda, razred B zastupan pretežno divovima, a desni kraj, razred M i divovima i patuljcima, to se uzelo, da se zvijezda nalazi u »bijelom« stanju visoke temperature samo jednom u toku svoga razvitka, a u »crvenom« stanju niske temperature dva puta. Prema tome bi razvitak zvijezde imao »*uzlazni*« dio, u kom zvijezda prolazi, ugrijavajući se sve više, niz spektralnih razreda u pravcu

$$M \rightarrow K \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow A \rightarrow B,$$

i »*silazni*« *dio* gdje, ohlađujući se sve više, pređe isti niz spektralnih razreda u protivnom pravcu

$$B \rightarrow A \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow K \rightarrow M.$$

Od teorija razvitka zvijezda, koje su izrađene na ovoj osnovi, nije se nijedna mogla dovesti u sklad sa svima poznatim činjenicama, i to tim manje, što je više ulazila u pojedinosti. Po jednoj od najglasovitijih teorija razvitak zvijezde — ako se ograničimo na onaj dio razvitka, u kom zvijezda toliko svijetli, da je vidimo — počinje sa stanjem crvenog diva. U tom je stanju zvijezda ogromnih dimenzija, vrlo male gustoće i niske temperature. Ona se u daljem razvitku steže na sve manji volumen, a pri tom se stlačivanjem unutrašnjosti stvara sve viša temperatura, zvijezda dolazi u stanje žutog i onda bijelog diva, a povećava se stlačivanjem i gustoća. Kod izvjesne temperature i gustoće zvijezda je dostigla svoje »najbjelje« stanje, najviši spektralni razred. Od sada dalje temperatura zvijezde ižarivanjem opada, jer stezanjem ne nadoknađuje više gubitak topline, a time joj opada i svjetloća, ona postaje po apsolutnoj veličini patuljak, najprije žuti, onda crveni, a konačno bi se toliko ohladila, da više ne ižaruje dovoljno svjetlosti, te postane nevidljiva. Na silaznom putu zvijezda ima sve veću gustoću. Naše Sunce svojom malom apsolutnom svjetloćom (+ 5), temperaturom 6000° C, spektralnim razredom *G* i gustoćom 1,4, koja je za zvijezdu velika, nalazilo bi se na silaznom dijelu razvitka, ono bi već bilo »žuti patuljak«.

[1] genesis grč. = postanak.

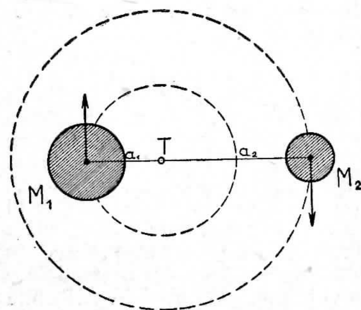
Protiv ove teorije nastali su vremenom razni, na činjenicama osnovani prigovori. Pokazalo se pri upoznavanju sve većeg broja zvijezda, da divova ima razmjerno prema broju patuljaka vrlo malo, da ima i znatan broj »bijelih patuljaka«, za koje se isprva mislilo, da su izuzetak i izvan pravca normalnog razvitka zvijezda, jer imaju znatno manju apsolutnu veličinu, a izvanredno veliku gustoću. Dalje se utvrdilo, da apsolutna veličina zvijezde stoji i do njene mase, pa je teško razumjeti, kako bi od crvenog diva razvitkom nastao crveni patuljak, a da ne izgubi ništa od mase. Osim toga nalazimo kod dvojnih zvijezda (gledaj slijedeću glavu!), kojih su komponente jamačno istodobno nastale, često istodobno crvenog diva i manju bijelu zvijezdu. To bi pak po ovoj teoriji bile sasvim različite faze razvoja.

Današnja astronomska nauka vidi glavni izvor energije žarenja zvijezda, a time i uzrok razvitka zvijezda u energiji atomskih procesa, napose u razgrađivanju i izgradnji atoma u unutrašnjosti zvijezda. Tako je danas problem razvitka zvijezda usko povezan s atomskom fizikom, koja opet iz astrofizike dobiva podatke o stanjima materije, kakova ne možemo na Zemlji proizvesti u tim razmjerima.

7. DVOJNE ZVIJEZDE

Upotrebom dalekozora brzo je otkrito, da se mnoge zvijezde stajačice, koje su za prosto oko jednostavne, u dalekozoru vide kao dvije, jedna drugoj bliske zvijezde. Isprva se mislilo, da je to samo neka igra prirode, da su te zvijezde samo približno u istom pravcu, gledane za Zemlje, ali da u stvari jedna s drugom nemaju veze. No u 18. stoljeću već je utvrđeno po gibanju takvih dvostrukih zvijezda, da one nijesu jedna drugoj blizu samo po prividnom mjestu na nebu, nego da su one *dvojni* ili *binarni sustavi*, po dva nebeska tijela, koja se gibaju pod utjecajem uzajamnog djelovanja njihove gravitacije. Proučavanje gibanja dvojnih sustava zvijezda stajačica, skladom između rezultata računa i opažanja, dokazalo je, da Newtonov zakon gravitacije vrijedi znatnom točnošću ne samo u Sunčevu sustavu, nego i u dalekom svemiru.

Gibanje onih dvaju nebeskih tijela, koja sačinjavaju dvojni sustav (ova dva tijela često se označuju »komponentama« dvojnog sustava), iako se zbiva po zakonima gravitacije, ipak ima oblik različit od planetarnog gibanja oko Sunca. Uzrok je u tom, što su komponente dvojnog sustava *dva sunca podjednake mase*, dok kod planetarnog gibanja masa i najvećeg planeta iščezava prema masi Sunca. Zbog svoje nadmoćne mase Sunce je u svom sustavu gotovo nepomični centar gibanja. Ali u dvojnom sustavu oba nebeska tijela djeluju gotovo jednako jedno na drugo, pa se mora gibati i jedno i drugo. Rezultat je, da *oba tijela opisuju keplerske elipse oko zajedničkog težišta obiju masa*, i to tako, da su im *ophodna vremena jednaka*, a spojnica njihovih središta stalno prolazi težištem (Sl. 112.).



Sl. 112

Težište dviju kuglastih masa nalazi se na spojnici središta u točki, koja tu spojnicu dijeli u obrnutom omjeru masa (Sl. 112, *T* težište; $a_1 : a_2 = M_2 : M_1$).

Zvijezda, kod kojih se dalekozorom može razabrati, da su dvojne, *vizuelnih dvojnih zvijezda*, ima velik broj; na cijelom nebu, sjevernom i južnom, poznato ih je oko 20 000, ali samo kod nešto preko 1000 moglo se dokazati, da se gibaju na način dvojnih sustava. Prividni razmak između komponenata vizuelnih dvojnih zvijezda iznosi obično nekoliko kutnih sekunda, ali zna biti i znatno manji od 1 sekunde.

Ophodno vrijeme vizuelnih dvojnih sustava iznosi od nekoliko godina do nekoliko tisuća godina, polovica ih otprilike ima ophodno vrijeme manje od 100 godina. Putanje im imaju velik ekscentricitet, prosječno 0,5, a dosižu i premašuju i 0,9 poput putanja kometa u Sunčevu sustavu.

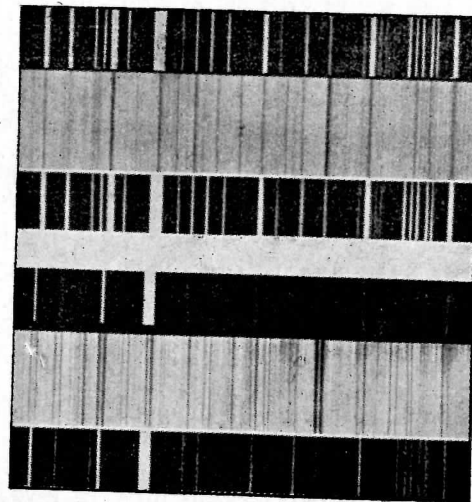
Od najsvjetlijih zvijezda našega neba vizuelne su dvostruke zvijezde Sirius i Prokyon. Ophodno vrijeme dvojnog sustava Siriusa je 50 godina, udaljenost između komponenata oko 20 polumjera Zemljine putanje.

Manja je komponenta Siriusova dvojnog sustava, u oznaci Sirius B, s obzirom na masu, udaljenost i na temperaturu, koja bi proizašla iz njezinog spektralnog tipa, premalo svijetla (prividna veličina 8,5). Zaključivalo se iz toga, da površina ove komponente mora biti malena, njena masa dakle zbijena u malom volumenu. Gustoća, koja se tako izvela iz dosada poznatih podataka o ovoj Siriusovoj komponenti, premašila bi daleko, tisuće puta i najtežu materiju na Zemlji, te je stoga ova zvijezda jedna zagonetna pojava. Ona je tipični bijeli patuljak.

Radi izvanredno velike gustoće na Siriusu B je relativistički pomak u linijama spektra prema crvenom kraju znatno veći nego kod Sunca. Taj je pomak opažanjima 1925. doista i potvrđen.

Ophodno vrijeme Prokyonova dvojnog sustava je 40 godina, a manja komponentà je također zvjezdica vrlo slaba sjaja.

Ima dvojnih sustava, kod kojih su komponente jedna drugoj tako blizu, da ih ni u najjačem dalekozoru ne možemo vidjeti rastavljene. Ipak je kod takvih zvijezda pošlo za rukom pomoću spektroskopa utvrditi, da se sastoje od dviju komponenata i da se te komponente gibaju na način dvojnih sustava. Takve se zvijezde zovu *spektroskopske dvojne zvijezde*. Gibanje komponenata ovih sustava utvrđuje se pomoću Dopplerova principa. Ako su komponente (Sl. 112) u jednom času u takvom položaju, da im spojnica stoji okomito na pravcu gledanja, onda se, kako pokazuju strelice na sl. 112., jedna nama približava, druga od nas udaljuje. Spektralne linije svjetlosti jedne komponente pomaknu se dakle na ljubičastu, druge na crvenu stranu, pa ćemo spektralne linije zvijezde vidjeti podvostručene. Kad je položaj takav, da je spojnica u pravcu gledanja, onda se obje komponente gibaju okomito na smjer gledanja, pa nema nikakva pomaka spektralnih linija.



Sl. 113. Spektri zvijezde Mizar A sa jednostavnim i dvostrukim linijama, uz njih spektar zemaljskog izvora radi poređenja (Yerkes-zvjezdarna).

Slika 113. pokazuje spektar zvijezde Mizar A, t. j. sjajnije komponente vizuelne dvojne zvijezde Mizar ili ζ u Velikom Medvjedu (ona je prva spektroskopska dvojna, koja je otkrita) sa jednostavnim i podvostručenim linijama i spektrom zemaljskog izvora svjetlosti radi poređenja. Iz pravilne izmjene jednostavnih i podvostručenih linija može se naći ophodno vrijeme, a po razmaku podvostručenih linija dimenzije putanje.

Spektroskopskih dvojnih zvijezda poznato je danas oko 1200. Ophodna vremena spektroskopskih dvojnih zvijezda manja su nego vizuelnih, iznose nekoliko dana, najviše po koju godinu. Putanje su im malog ekscentriciteta.

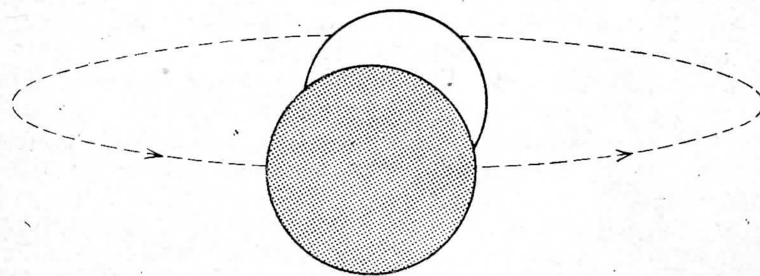
Od najsvjetlijih zvijezda našega neba spektroskopska dvojna zvijezda je Capella u Kočijašu. Ova se zvijezda sastoji od dviju komponenata, dva sunca, jedno tri puta, drugo četiri puta veće mase od našega Sunca, u međusobnom razmaku od 127 milijuna kilometara (manjem dakle od polumjera Zemljine putanje). Ova dva sunca, i po promjeru mnogo veća od našeg, kruže oko zajedničkog težišta s ophodnim vremenom od 104 dana. Njihov razmak uspjelo je i direktno izmjeriti.

Računom možemo iz razmaka komponenata vizuelnih dvojnih zvijezda, koje su ujedno spektroskopske, odrediti t. zv. *dinamičke paralakse.*

Kao prvu vizuelnu dvojnu zvijezdu motrio je Riccioli 1650. Mizar, ζ Velikog Medvjeda. Sistematski se počeo baviti dvojnim zvijezdama W. Herschel 1781., te je dao pojam dvojnih (binarnih) zvijezda i izradio prvi katalog za kojih 800 dvojnih zvijezda. 1803. pokazao je onda, da zakon gravitacije vrijedi i za dvojne zvijezde. Zvijezdi Mizar A je binarni karakter utvrdio spektroskopom E. C. Pickering 1889.

Posebnu grupu dvojnih zvijezda čine one, gdje se dvojna priroda očituje u *pravilnim promjenama svjetloće (fotometričke dvojne zvijezde).* Takvih je danas poznato preko 1000. Ta će pojava nastati, ako je Zemlja u ravnini putanje dvojnog sustava (ili vrlo blizu te ravnine). Ako je jedna komponenta sustava znatno tamnija od druge, onda će u svakom ophodu jedamput tamnije tijelo dvojnog sustava proći između nas i svjetlijeg tijela, pa će ovo svjetlije biti manje ili više zastrto, kako pokazuje slika 114. Tim će svjetloća, u kojoj vidimo dvojni sustav, biti povremeno umanjena, dok traje prolaz jedne komponente ispred druge, u svakom će dakle ophodu biti jedan minimum svjetloće. Najpoznatija dvojna zvijezda ove vrste je *Algol (β Perzeja).* Ophodno vrijeme ovog dvojnog sustava je 2 dana 21 sat, prolaz tamne komponente pred svijetlom traje 9¾ sata. Algol, kad nije pomračen, je veličine 2, kad ga počne tamni pratilac zastirati, padne u nešto preko 4½ sata gotovo na veličinu 4, ostane ¼ sata u minimumu svjetloće i onda u 4½ sata dostigne opet veličinu 2, na kojoj ostane gotovo 60 sati do slijedećeg prolaza.

Ako razlika u svjetloći komponenata takvog sustava nije velika, onda će svjetloća oslabiti dva puta u svakom ophodu, jednom kad tamnija komponenta prođe ispred svjetlije, a drugi put kad svjetlija prođe ispred tamnije. U svakom će ophodu dakle biti 2 minimuma svjetloće, ali će ti minimumi biti manje izraziti nego kod zvijezda tipa Algola. Najpoznatiji predstavnik ove druge vrste fotometričkih dvojnih zvijezda sa 2 minimuma svjetloće u svakom ophodu je β Lire. Obje komponente te zvijezde tako su blizu, da su radi međusobne gravitacije eliptično produžene (djelovanje plime).



Sl. 114

Najčudnija takova dvojna zvijezda je VV Cefeja, ujedno spektroskopska. Za veću, tamniju komponentu dao je račun promjer 2400 puta promjer Sunca, t. j. ona bi postavljena na mjesto Sunca sezala gotovo do Neptuna. Pomračenje pak manje, sjajnije komponente traje 1 godinu i 3 mjeseca. Kod tog pomračenja sija svjetlost manje komponente kroz atmosferu veće, koju možemo time dobro upoznati. Gustoća veće komponente je milijardu puta manja od vode. Oko 100 puta manja komponenta treba 20 godina, da obiđe veću. Obadvije su obavijene zajedničkom atmosferom od plinovitog željeza.

8. PROMJENLJIVE ZVIJEZDE

Promjenljivim se zvijezdama nazivaju one zvijezde, kod kojih se zapažaju promjene svjetloće. Takvih zvijezda ima mnogo; oko 8000 ih ima, kojima su promjene svjetloće pobliže motrene. U načinu, kako se svjetloća, a time i prividna veličina mijenja i koliko se ona mijenja, zapažena je kod promjenljivih zvijezda velika raznolikost, ali ipak se one mogu svrstati u nekoliko glavnih vrsta. Jedno od glavnih obilježja, po kojima se promjenljive zvijezde mogu razvrstati, je u tom, što se promjene svjetloće zbivaju

kod jednih *pravilno*, kod drugih *nepravilno. Pravilna promjenljiva* zvijezda u *jednakim razmacima vremena,* ili bar približno jednakim razmacima dostizava maksimum i opet minimum svjetloće. Svjetloća se dakle mijenja *periodično,* a stalno vrijeme od maksimuma do narednog maksimuma ili, što je isto, od minimuma do minimuma, zove se *period promjene svjetloće.*

Kod *nepravilnih promjenljivih zvijezda* ne može se razabrati nikakav period.

Nepravilne promjenljive zvijezde čine znatan dio svih poznatih promjenljivih zvijezda, a razlikuju se kod njih i razne podvrste. Kako su pojave kod ovih nepravilnih zvijezda, iako se mnogo proučavaju, ostale do danas većim dijelom zagonetne, ne možemo se ovdje njima podrobnije baviti.

Od pravilnih promjenljivih zvijezda već je o dvjema vrstama bila riječ u prethodnoj glavi; to su promjenljive zvijezde tipa *Algola* i tipa *β Lire,* kod kojih su promjene svjetloće uzrokovane prolazima nejednako svijetlih komponenata dvojnog sustava jedne ispred druge.

Ostale zvijezde, koje se ubrajaju u *pravilne promjenljive,* mogu se po periodu svrstati u dvije glavne vrste:

a) *dugoperiodne promjenljive* zvijezde ili promjenljive tipa *Mira Ceti,*

b) *kratkoperiodne promjenljive* zvijezde ili *Cefeide.*

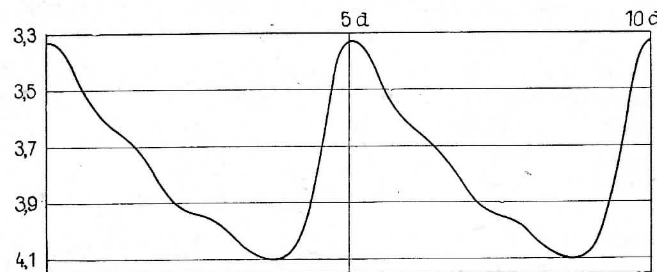
a) Dugoperiodne promjenljive zvijezde ovoga tipa prozvane su po njihovu najglasovitijem predstavniku, zvijezdi Mira Ceti (Mira lat. čudnovata, Cetus = zviježđe Kita), koja je ujedno najdulje poznata promjenljiva zvijezda. Mira Ceti ima period promjene svjetloće od približno *11 mjeseci,* ali taj period nije potpuno stalan, nego zna biti i manji i veći. U maksimumu ta zvijezda dostigne katkad i veličinu 2, ali redovno samo veličine 3 do 4, a u minimumu spadne na veličinu 9. Ona dakle periodično za prosto oko iščezne. Mira Ceti je pravi crveni supergigant, njen je promjer izmjeren i još je veći od promjera Betelgeuza (Sl. 111).

Promjenljivih zvijezda, koje mijenjaju svjetloću na način Mire Ceti, ima mnogo, one su najbrojnija vrsta promjenljivih zvijezda. Periodi ovih zvijezda kreću se između 2 mjeseca i 2 godine dana, ali najviše ih ima sa periodom blizu periodu Mire Ceti. Uzrok pravilnim promjenama svjetloće ovih zvijezda nije još utvrđen. Promjenljive zvijezde Mira-tipa su giganti i supergiganti.

b) *Cefeide* su kratkoperiodne promjenljive zvijezde, prozvane po najstarijem predstavniku te vrste, zvijezdi *δ* u zviježđu Cefeja

(*δ* Cephei). Periodi ove, u savremenoj astronomiji vrlo važne vrste promjenljivih zvijezda, kreću se između nekoliko sati i nekoliko dana. Najveći broj Cefeida ima period ili oko ½ dana (tip RR Lire) ili oko 5 dana; *δ* Cephei ima period od 5 dana.

Način, kako se periodično mijenja svjetloća ovih zvijezda, vrlo je karakterističan. Na slici 115. prikazane su promjene



Sl. 115

svjetloće zvijezde *δ* Cephei krivuljom, na apscisi je naneseno vrijeme u danima, ordinata daje prividnu veličinu zvijezde. Razabira se, da je uspon svjetloće vrlo nagao, a slaz sporiji i ponešto kolebljiv.

Po apsolutnoj veličini sve su Cefeide giganti i supergiganti. Svoju važnost u astronomiji dobile su Cefeide tim, što je utvrđeno, da *između apsolutne veličine i duljine perioda postoji kod Cefeida vrlo jednostavan odnos: logaritam perioda raste razmjerno s apsolutnom veličinom.* Taj odnos dopušta, da se iz perioda jedne Cefeide izračuna njena apsolutna veličina. Kako se period promjena svjetloće i prividna veličina Cefeida mogu utvrditi motrenjem, to se pomoću apsolutne veličine može naći paralaksa i udaljenost Cefeida.

Određivanje udaljenosti Cefeida pridonijelo je u najnovije vrijeme mnogo upoznavanju dalekog svemira, jer su se Cefeide našle i u najudaljenijim dijelovima svemira, pa su mjerenjem njihova perioda mogle biti određene i udaljenosti od stotina tisuća godina svjetlosti.

Uzrok periodičnih promjena svjetloće Cefeida nije još razjašnjen. Sigurno je, da se te promjene ne mogu razjasniti tim, da bi zvijezdu periodično zastiralo drugo tamnije tijelo.

Od svih teorija promjena svjetloće Cefeida i zvijezda tipa Mira najviše je danas prihvaćena teorija pulzacije, koju je teoretski osobito raz-

radio Eddington (početkom 20. stoljeća). Po toj teoriji pravilna promjena sjaja dolazi od periodičnog nadimanja i stezanja zvijezde (pulzacije), što bi se događalo ponajviše kod zvijezda giganata vrlo velike mase, kakove su pretežno ove pravilno promjenljive zvijezde. Ispitivanjem radijalnih gibanja u atmosferama tih zvijezda pomoću pomicanja spektralnih linija doista su utvrđena takova pulziranja. Ipak se ta teorija u svom dosadanjem obliku nije dala dovesti u sklad sa svima činjenicama.

Algol (β Perzeja) prvi je kao promjenljivu zvijezdu upoznao Montanari 1667.; proučio ju je gluhonijemi J. Goodricke 1782. Isti je 1784. otkrio i proučio zvijezdu β Lire, a iste godine otkrio je i važnu promjenljivu zvijezdu δ Cefeja.

Već 1596. vidio je D. Fabricius prvu promjenljivu zvijezdu o Ceti, koju je nazvao Mira Ceti. Odnos perioda i apsolutne veličine našla je Miss Leavitt 1912. kod Cefeida u Malom Maghellanovu oblaku.

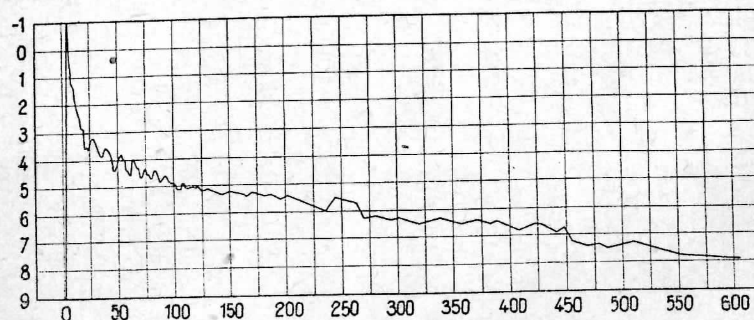
9. NOVE ZVIJEZDE

Posebna, zanimljiva vrsta promjenljivih zvijezda, koje u velikoj mjeri mijenjaju svjetloću i spektar, a pokazuju i druge značajne promjene, jesu t. zv. *nove zvijezde.*

Zapaženo je već u najstarije doba nauke o nebu, da katkada na nebu naglo zasine jedna sjajna zvijezda stajačica na mjestu, gdje se prije prostim okom nije vidjela nikakva zvijezda. Na ulazu u novovjeku astronomiju otkrio je i proučavao takvu sjajnu novu zvijezdu slavni astronom Tiho Brahe godine 1572. u zviježđu Kasiopeje; ta je zvijezda u malo dana dostigla sjaj Venere, bila je prostim okom još vidljiva preko jedne godine dana, a danas na tom mjestu stoji neznatna zvijezda veličine 12.

Kod novijih pojava novih zvijezda utvrđeno je pomoću fotografije onoga dijela neba, gdje je zasjala nova zvijezda, a snimljene prije nego što je zasjala, da je na istom mjestu bila prije zvijezda slaba sjaja. Na pr. kod nove zvijezde, koja je u decembru god. 1934. zasjala u zviježđu Herkula, bila je prije na tom mjestu zvijezda veličine 14. Prema tome pojava nove zvijezde sastoji se u tom, da jedna zvijezda bukne naglo do velikog sjaja. Tako je novoj zvijezdi u Herkulu u malo dana svjetloća narasla za 13 veličina, a to će reći, da joj je jačina svjetlosti postala gotovo 200 000 puta veća. Pošto se nova zvijezda naglo uspne na maksimum sjaja, počinje joj sjaj najprije brzo, onda uz manje ili više kolebanja sve sporije opadati. Slika 116 pokazuje krivuljom, kako je rasla i opadala u vremenu od 600 dana prividna veličina nove zvijezde u zviježđu Orla, koja je zasjala god. 1918. Naglo je dostigla veličinu —1, onda brzo opada do ispod veličine 3, nakon 9 mjeseca pada ispod veličine 6 i nije više vidljiva prostim okom.

Ove promjene svjetloće prate kod novih zvijezda vrlo značajne promjene spektra. Takva je zvijezda, prije nego bukne, po spektru Harvard-tipa B ili A, te ima samo tamne, apsorpcione linije kao velika većina zvijezda. Kad nova zvijezda pređe maksimum svjetloće, onda se tamne apsorpcione linije spektra sve više nadomještaju svijetlim, emisionim linijama. Obično nakon nekoliko mjeseca spektar se sastoji od samih svijetlih linija, a to su točno *iste linije, koje se nalaze u spektru planetarnih maglica,* o kojima će biti riječ u glavi V. 11. Zaključak, koji se može iz ove promjene spektra izvesti, da se nova zvijezda sve više



Sl. 116

opkoljava usijanim plinovima, koji svijetle, potvrdio se kod mnogih zvijezda tim, što se oko njih iza poduljeg vremena pojavilo svijetlo maglovito velo i maglice, koje su posve nalik na planetarne maglice. Slika 117. prikazuje fotografiju maglovitog vela oko nove zvijezde u Perzeju, koja se pojavila god. 1901. Fotografija je iz god. 1917., dakle 16 godina nakon što je zasinula ova nova zvijezda. Na koncu nova zvijezda spadne na sjaj slabe zvijezde, a taj ostatak nove zvijezde ima spektar Wolf-Rayet-zvijezda (gl. V. 6.).

U vangalaktičkim maglicama (gl. V. 11) nađene su t. zv. *supernove,* koje u maksimumu dosegnu znatno veći sjaj, gotovo 10 veličina više od ostalih novih zvijezda. U našem sustavu zvijezda bile su 3 pojave supernova, najsjajnija je bila baš Tihonova zvijezda.

Pojavu novih zvijezda, svakako jednu od najčudnovatijih i najveličanstvenijih na zvjezdanom nebu, tumači današnja nauka ovako:

Zvijezdi se poradi nekog unutrašnjeg napona silno poveća volumen, a tim i površina (po nekim ocjenama promjer joj naraste i na 100-struki iznos), pa joj zbog toga naraste i svjetloća. Ovo širenje zvijezde potvrđeno je i odgovarajućim pomakom spektralnih linija (Dopplerov efekt). Iz unutrašnjosti sukljaju usijani plinovi, koji se kao uslijed silne eksplozije udaljuju od zvijezde ogromnim brzinama na sve strane (brzinama i preko 3000 km u sekundi, koje premašuju i brzine sukljanja protuberanca na Suncu). Pošto je zvijezda ovako izbacila velike mase usijanih plinova, ona opet splasne. Izbačeni usijani plinovi svijetle oko nje kao maglica. Šta je uzrok ovoj eksploziji zvijezda, može li tako da eskplodira svaka zvijezda, na to se ne može danas odgovoriti. Dosada nijedna nova zvijezda od poznatih stotinu nije bila nama bliža od 300 godina svjetlosti.



Sl. 117. Maglica oko nove zvijezde u Perzeju (Mt. Wilson-zvjezdarna 1917.).

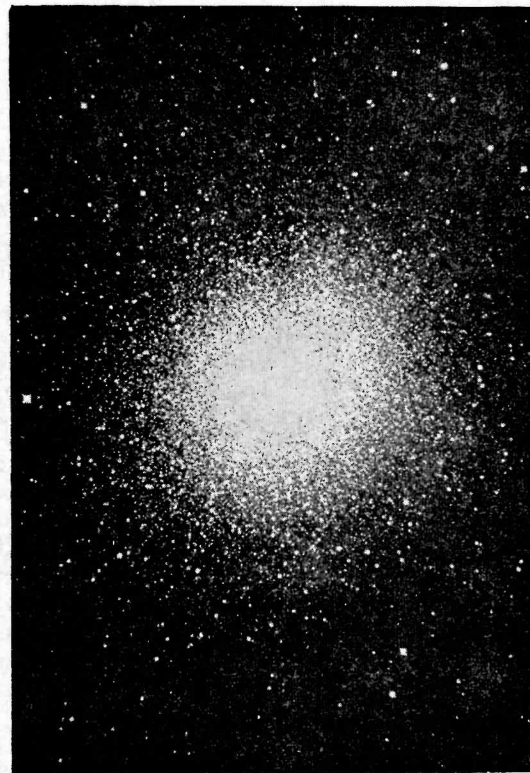


Sl. 118. Vlašići (Plejade), fotografija Yerkes-zvjezdarne.

Nove zvijezde su prema kitajskim ljetopisima zapažene već u prastaro doba, najstarija je iz godine 2679. pr. n. e. Godine 134. pr. n. e. pojavila se saglasno po kitajskim i grčkim vijestima nova zvijezda u zviježđu Škorpiona i navela navodno grčkog astronoma Hiparha, da sastavi popis zvijezda, koji nije sačuvan. Do 1942. bilo je 97 galaktičkih novih zvijezda, ali im broj naglo raste, otkad se fotografijom nebo točno pretražuje. U 20. stoljeću bilo je dosada 8 sjajnih pojava novih zvijezda: 1901. Nova Persei, 1912. Nova Geminorum, 1918. Nova Aquilae, 1920. Nova Cygni, 1925. Nova Pictoris (na južnoj hemisferi), 1934. Nova Herculis, 1936. Nova Lacertae, 1945. Nova Aquilae. Prvu novu zvijezdu u vangalaktičkim maglicama utvrdio je Ritchey 1917. u maglici NGC 6946, ali su već za Novu 1885. u Andromedi držali, da pripada spiralnoj maglici. Supernove su u spiralnim maglicama nađene prvi put god. 1934.

10. SKUPOVI ZVIJEZDA

Na nekim mjestima neba vidimo, da su se zvijezde zbile u *skupove* (ili hrpe), u malom dijelu neba ih ondje ima mnogo više nego prosječno po nebu.



Sl. 119. Kuglasti skup zvijezda u Herkulu (M 13). (Fotografija Mt. Wilson-zvjezdarne).

Dvije su vrste skupova: *otvoreni skupovi* i *kuglasti skupovi*. U *otvorenim skupovima* nagomilan je doduše veći broj zvijezda, ali granice skupa nijesu pravilne, niti se razabira, da bi zgušćenje bilo pravilno raspoređeno. Najpoznatiji otvoreni skup su *Vlašići* ili *Plejade* (Sl. 118), od kojih se 7 zvijezda vidi prostim okom, ali skup se sastoji od 200 zvijezda. U otvorene skupove može se ubrojiti i jato *Hijada,* o kojemu je bila riječ u glavi V. 5. Svega je poznato oko 300 otvorenih skupova.

Kuglasti skupovi su pravilnog okruglog oblika, zvijezde su se u njima zbile oko središta. Slika 119, fotografija kuglastog skupa zvijezda u zviježđu Herkula, pokazuje, da skup prostorno bez sumnje ima kuglast oblik. Broj je zvijezda u kuglastim skupovima ogroman, on doseže u pojedinim skupovima sigurno i jedan milijun. Kuglastih skupova poznato je oko 100, a najviše ih ima u zviježđu Strijelca.

Udaljenost i dimenzije mogle su se kod kuglastih skupova približno odrediti, jer su u njima nađene Cefeide (gl. V. 8.) kratkog perioda (tip RR Lire). Našlo se, da su udaljenosti kuglastih skupova ogromne, 25 000 do preko 150 000 godina svjetlosti. Promjeri kuglastih skupova iznose oko 100 godina svjetlosti.

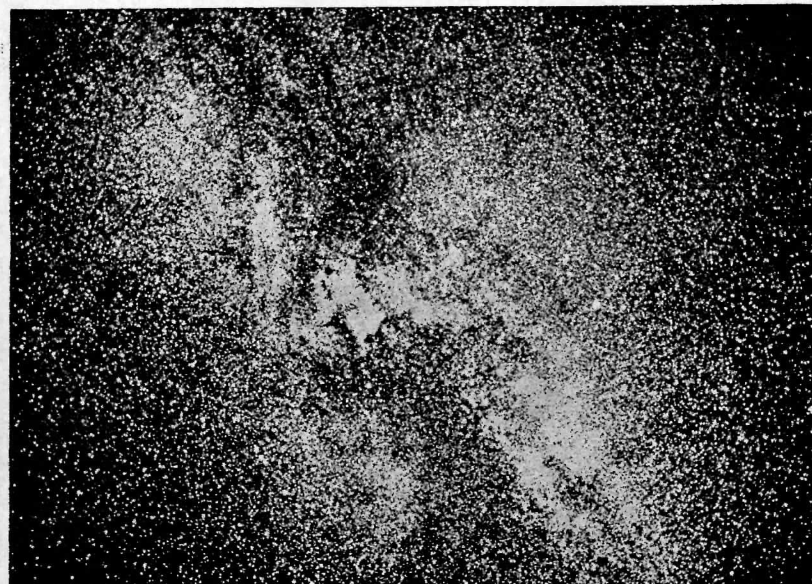
Od otvorenih skupova zvijezda bile su Hijade i Plejade u Biku poznate već starim Grcima. Homer poznaje samo 6 zvijezda u Plejadama, dok Hiparh i Ptolemej znaju za 7, a nosile su imena kćeri Atlasa. Sa izlaženjem Plejada početkom zime stoji u vezi, čini se, i dan mrtvih u početku novembra. Od kuglastih skupova, koje je osobito proučio u posljednje vrijeme H. Shapley, najdulje je poznat skup u Herkulu, koji je otkrio Halley, a razriješio ga dalekozorom u zvijezde W. Herschel 1783.

Kumovska Slama. Svima je poznata blistava, svijetla pruga, koja se razapinje preko cijelog nebeskog svoda, a naziva se *Kumovskom Slamom* ili *Mliječnim Putem.* Kumovska slama ide na nebu naših krajeva poglavito zviježđima Monoceros, Gemini, Auriga, Perseus, Cassiopeia, Cepheus, Cygnus, Sagitta, Aquila, Ophiuchus, Sagittarius, Scorpius, nanizanim približno po jednom glavnom krugu neba, a siječe ekliptiku dva puta: kod Blizanaca (Gemini) i kod Strijelca (Sagittarius). Kumovska slama nije pravilna oblika, ona ima šir'h i užih mjesta, svjetlijih i tamnijih dijelova, a od zviježđa Labuda (Cygnus) prema jugu se cijepa u dvije trake.

Kad Kumovsku Slamu gledamo dalekozorom, onda vidimo, da se ona sastoji od ogromnog mnoštva gusto zbijenih zvijezda vrlo male prividne veličine, tako da na oko djeluje kao maglica. Ali gustoća zvijezda u tom najvećem skupu zvijezda nije jednolika, nego one tvore manje i veće osobito guste gomile *(zvjezdani oblaci),* koje su jedne od drugih rastavljene rjeđim dijelovima.

U blizini Kumovske Slame nalazi se velika većina otvorenih skupova zvijezda, dok se kuglasti skupovi nalaze na cijelom nebu.

Dijelovi Kumovske Slame vide se na slikama 120. i 121.



Sl. 120. Zvjezdani oblak u Kumovskoj Slami u zviježđu Labuda.

11. MAGLICE

Pored zvijezda moći će dobro oko u nekim zviježđima zapaziti i male pjege slabe svjetlosti. Mnoge od tih maglovitih pjega ne razrešuju se ni najboljim dalekozorima u skupove zvijezda, nego se vide kao svijetle pjege sad pravilnijeg, sad manje pravilnog oblika, sad gušćeg sastava, sad opet vlaknaste. Ova se nebeske tijela zovu (svemirskim) *maglicama.* Kako svemirske maglice slabo svijetle, raspoznaje im se oblik i sastav najbolje, ako se fotografiraju sa dugim vremenom ekspozicije.

Razlikuje se više vrsta maglica, koje po obliku, koje po udaljenosti i razmještaju na nebu.

Glavne su vrste maglica ove:

DIFUZNE MAGLICE (diffusus, lat. = razasut) su vrlo nepravilna oblika, imaju sad zbijene dijelove poput oblaka, sad vlaknaste i nalik na čipkasto velo, gdjegdje i tamne brazde, koje ih cijepaju u dijelove. One su izrazito raspoređene u blizini Kumovske Slame.



Sl. 121. Tamni oblak u Nosaču Zmije.

Slika 123 pokazuje maglicu u zviježđu Oriona, jednu od najvećih i najsvjetlijih. Difuznih je maglica poznato preko 100. Kod mnogih je maglica, tako i kod maglice Oriona utvrđeno, da one grupi zvijezda, u kojoj ih vidimo, ne pripadaju samo po smjeru gledanja (perspektivno), nego da su one s tim zvijezdama u stvarnoj vezi; tako su difuznim maglicama opkoljeni i Vlašići (sl. 118). Svjetlost, koju mi dobijemo od takve difuzne maglice, ne ižaruje ona samostalno, nego ona daje svjetlost, koju prima od okolnih zvijezda. Svjetlost zvijezda ili se odbija od magličine materije *(refleksivne maglice)* ili magličina materija svjetlost apsorbira

i donekle promijenjenu ižaruje, što nastupa samo u okolini vrlo vrućih zvijezda *(emisione maglice)*. Karakteristične zelene linije u njihovu spektru su iste kao kod planetarnih maglica (vidi niže).



Sl. 122. Tamni oblak u Orionu.

Tamni oblaci i interstelarna apsorpcija. Naslućivalo se već dugo po tamnim dijelovima u difuznim maglicama i po nekim upadnim prazninama na nebu, gdje su zvijezde mnogo rjeđe nego u okolici, da u svemiru mora biti mnogo tamne materije, koja nam zaklanja vidik. Fotografijom neba i pomnjivim proučavanjem razmještaja zvijezda, maglica i promjene boje dalekih sjajnih zvijezda pošlo je za rukom dokazati, da takvih tamnih masa, nazvanih *tamnim oblacima,* zaista ima (Sl. 121. i

122.). No i posvuda u ravnini Kumovske Slame nalazi se sloj izvanredno rijetke interstelarne materije, koji oslabljuje svjetlost nebeskih tijela u većim daljinama *(interstelarna apsorpcija)*. Ti tamni oblaci ne izvode linije apsorpcije u spektrima zvijezda, koje se kroz njih vide, te se očito sastoje od svemirske prašine, mnoštva vrlo sitnih krutih čestica.

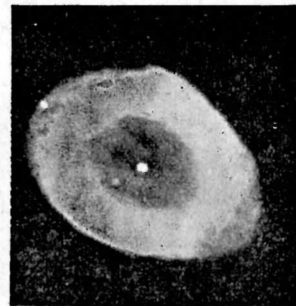


Sl. 123

Osim toga našlo se u spektrima dalekih zvijezda tamnih apsorpcionih linija, koje očito ne pripadaju atmosferi tih zvijezda, jer ne učestvuju poput ostalih linija spektra u pomacima radi gibanja zvijezda. Te t. zv. *mirne linije*, napose kalcija, potječu od vrlo rijetke interstelarne plinovite materije, opet u blizini Kumovske Slame. I pomoću tih linija moguće je odrediti *paralakse*.

PLANETARNE MAGLICE vide se kao maglovite pjege jasno ograničene i dosta pravilna oblika. Dok difuzne maglice zapremaju na nebu i nekoliko kutnih stupnjeva, planetarne imaju prividni promjer od nekoliko sekunda do malo preko

1 minute. Što se u dalekozoru prikazuju kao male, okrugle, svijetle pjege nalik na ploču planeta, pribavilo im je i ime planetarnih maglica. Planetarne su maglice također okupljene u blizini Kumovske Slame.



Sl. 124

Slika 124 prikazuje planetarnu maglicu u zviježđu Lire sa karakterističnim oblikom koluta.

Kao što kod ove planetarne maglice, tako se i kod ostalih — poznato ih je oko 125 — vidi u *središtu maglice* sad jasno kao u maglici u Liri, sad mutnije jedna *zvijezda*, koja se i zove *centralna zvijezda* planetarne maglice. Smatra se utvrđenim, da ta zvijezda nije samo slučajno u središtu maglice, nego da su ova dva tijela i fizički povezana. Centralna zvijezda je uvijek zvijezda Harvard-razreda W, zvijezda najviše temperature; misli se, da kod nekih od tih centralnih zvijezda površinska temperatura iznosi i preko 100 000° C. Stoga je vjerojatno, da svijetla maglica, koja opkoljava centralnu zvijezdu i nije drugo nego usijane plinovite mase, koje je centralna zvijezda izbacila iz svoje još mnogo više usijane unutrašnjosti. Ako se sjetimo onoga, što je u gl. V. 9. rečeno o novim zvijezdama, onda nam se nameće uska veza između ovih pojava: planetarne maglice i njihova centralna zvijezda vjerojatno su ostaci novih zvijezda (zapravo supernova), koje su buknule negdje u davnoj prošlosti.

Posebnu pažnju zaslužuje *spektar planetarnih maglica*. Kad se neko vrijeme mislilo, da možda pravih maglica i nema, da se u tim maglovitim pjegama pokazuje samo nemoć naših dalekozora, kojima nijesmo kadri vidjeti, da su te pjege zapravo vrlo daleki skupovi zvijezda — onda je *karakteristični svijetli linijski spektar* planetarnih maglica bio nepobitan dokaz, da su to zaista mase *usijanih plinova*, jer linijski spektar od svijetlih linija može dati samo usijani plin. — U spektru planetarnih maglica osobito su karakteristične dvije vrlo svijetle zelene spektralne linije (tabl. spekt. 6), kojih je jačina tolika, da se ove maglice vide u zelenkastoj svjetlosti. Ove linije nijesu bile poznate ni u kojem spektru poznatih kemijskih elemenata, pa se neko vrijeme držalo, da u planetarnim maglicama svijetli nama još nepoznati kemijski elemenat, koji je stoga i dobio ime *nebulium* (lat. nebula = magla). U najnovije se vrijeme pokazalo, da se linijski spektar planetarnih maglica može svesti uglavnom na kisik i dušik u krajnje razrijeđenom stanju. Tako razrijeđenu materiju, kakva je u planetarnim maglicama, ne možemo u zemaljskim laboratorijima postići, jer ta materija se cijeni 100 000 puta rjeđa nego što je daje »vakuum«, zrakoprazan prostor postignut uzdušnim sisaljkama.

SPIRALNE MAGLICE (vangalaktičke maglice) imaju karakteristični oblik spirale. Obično se vide dva spiralno zavijena kraka, koji iz okrugle, gušće maglovite jezgre izlaze u dvjema dijametralno suprotnim točkama. U vanjskom dijelu spiralne maglice, pri završetku spiralnih krakova magličina ma-

terija kao da se više zbija u zvijezde. Spiralnih maglica ima ogroman broj, nije bilo moguće prebrojiti ih, ali se cijene na više milijuna primjeraka. Kako su plosnatog oblika, prikazuju nam se različito prema tome, kako njihova ravnina stoji prema smjeru gledanja. Nalaze se posvuda na nebeskom svodu, često u većim skupinama. Tako ih ima vrlo mnogo u zviježđima Djevice i Kose Berenikine (t. zv. Coma-Virgo grupa).



Sl. 125

Spiralnu maglicu u zviježđu Lovačkih Pasa (Sl. 125) gledamo okomito na ravninu, spiralnu maglicu u zviježđu Pegaza (Sl. 126) sa brida, gdje se vidi, da je oblika nalik na leću. Spiralna maglica u zviježđu Andromede (Sl. 127) je najbolje od svih proučena, ona se može i prostim okom razabrati.

Udaljenost spiralnih maglica mogla se u mnogo slučajeva izračunati. U nekim spiralnim maglicama zapažene su promjenljive zvijezde vrste Cefeida, kod kojih se, kako znamo iz glave V. 8, može iz perioda promjene svjetloće zaključiti, kolika im je apsolutna veličina, a iz ove i prividne veličine naći udaljenost.

Karakteristično je kod spiralnih maglica, da se u njima pojavljuju nove zvijezde odn. supernove sa onim značajnim promjenama svjetloće i spektra, koje su prikazane u glavi V. 9. Kako se našlo, da se po apsolutnoj veličini nove zvijezde ne razlikuju mnogo jedna od druge, to se, pretpostavljajući kod novih zvijezda i u spiralnim maglicama prosječnu apsolutnu veličinu novih zvijezda, mogla procijeniti udaljenost spiralnih maglica. Isto se tako mogla odrediti udaljenost pomoću prosječne veličine najsjajnijih zvijezda u maglici, a onda i prema prosječnoj veličini samih maglica.



Sl. 126

Svi ovi načini određivanja udaljenosti suglasno su dali rezultat, da udaljenosti spiralnih maglica daleko premašuju udaljenosti ostalih nama poznatih nebeskih tijela. Jedna od najbližih spiralnih maglica je Andromedina (Sl. 127.), a njezina udaljenost je blizu 1 milijun godina svjetlosti. Ali ima spiralnih maglica, za koje se drži, da im udaljenost od nas iznosi do 500 milijuna godina svjetlosti. Nisu sve izvanredno daleke »vangalaktičke« maglice spiralne. Ima ih eliptičnog i lećastog oblika (sl. 129.), a i posve nepravilnih, kao što su Veliki i Mali Maghellanov oblak u blizini južnog nebeskog pola, koji su nam znatno bliži od spiralne maglice u Andromedi.

Spiralne maglice — iako u njima bez sumnje ima i vrlo raširenih svijetlih plinskih masa — smatraju se ogromnim skupovima zvijezda, sunaca. Na to ukazuje i spektar svjetlosti spiralnih maglica, koji je neprekidan spektar sa tamnim, apsorpcionim linijama, sličan spektru Sunca i velike većine zvijezda. Pokazalo se, da su linije u spektrima maglica pomaknute to više na crvenu stranu, što su maglice udaljenije. Tumačenje te zakonitosti u pomacima prema crvenom kraju spektra još nije sigurno, ali pomoću nje možemo određivati paralakse, dakle udaljenosti. Kod nekih se vangalaktičkih maglica mogla pomoću Dopplerova efekta utvrditi i rotacija čitave maglice, te se danas smatra, da sve vangalaktičke maglice rotiraju. Premda su obodne brzine vanjskih dijelova maglica vrlo velike, ipak radi njihovih ogromnih dimenzija treba za jedan potpuni okretaj mnogo milijuna godina.

Od maglica se spiralna maglica u Andromedi, koja se vidi i prostim okom, spominje već u katalogu zvijezda Al-Sufija. Dalekozorom ju je prvi put vidio Simon Marius 1612.

U početku 17. stoljeća otkrita je i difuzna maglica u Orionu.

W. Herschel je sam otkrio, popisao i razvrstao nekoliko tisuća skupova zvijezda i maglica. Temeljno moderno poznavanje vangalaktičkih maglica dao je E. Hubble sa Mt. Wilson-zvjezdarne.



Sl. 127.

12. CJELINA VIDLJIVOG SVEMIRA

Sunčev sustav, u koji spada i naša Zemlja, okružen je odasvuda zvijezdama stajačicama, koje su u različitim daljinama od nas. Stelarnoj astronomiji pošlo je za rukom, da određivanjem udaljenosti sve većeg broja zvijezda i drugih nebeskih objekata, te statističkim obrađivanjem ovih podataka stvori u najkrupnijim crtama sliku, kako su nebeska tijela oko nas razmještena.

Za istraživanje dalekih dijelova svemira služe sjajne zvijezde spektralnih razreda O, B, A i zvijezde velikog apsolutnog sjaja, supergiganti; zatim radi upadnih posebnih svojstava promjenljive zvijezde Cefeide i nove zvijezde, planetarne maglice i skupovi zvijezda, koji se vide još u ogromnim daljinama. Napokon nas vangalaktičke maglice vode u najveće dubine svemira.

Kad bismo pošli u svim pravcima u svemirski prostor, naišli bismo doduše još u velikim daljinama na zvijezde stajačice, bilo pojedinačno, bilo u otvorenim skupovima, ali od neke daljine više ih gotovo nema. Idemo li u kojem pravcu u ravnini Kumovske Slame, onda pojedinačnih zvijezda stajačica i otvorenih skupova nestaje u daljini od nekih 10 000 godina svjetlosti, a u smjeru okomitom na ravninu Kumovske Slame već u daljini od 2000—3000 godina svjetlosti.

Razmještaj daljih nebeskih tijela pokazuju nam zvjezdani oblaci u Kumovskoj Slami, koji se osobito ističu u predjelu Labuda, Orla, Štita, Sobjeskoga, Strijelca i Škorpiona, te na južnom nebu u predjelu Južnog Krsta i Lađe Argo. U tim predjelima su i najznatniji tamni oblaci, koji ukazuju na jaku interstelarnu apsorpciju. Zvjezdani oblaci i tamni oblaci naznačuju nam smjer prema najgušćem dijelu (u području Strijelca, t. zv. Sagittarius-sustav) jednog šireg zvjezdanog sustava, koji ima oblik vrlo sploštenog elipsoida, nalik na leću, promjera do 90 000 godina svjetlosti, a debljine do 10 000 godina svjetlosti. Ovaj splošteni sustav stvara pojavu Kumovske Slame, jer gledajući u smjerovima, gdje je dužina najveća, vidimo daleko više zvijezda nego u smjeru okomitom na ravninu Kumovske Slame. To je zvjezdani sustav *Kumovske Slame* ili *galaktički sustav*.[1]

Kumovsku Slamu shvaćao je već Kepler kao zvjezdani sustav. Prva sistematska istraživanja o sastavu i granicama našeg zvjezdanog sustava dao je također W. Herschel.

Kuglasti skupovi zvijezda i zvijezde tipa RR-Lire (kratkoperiodne Cefeide) tvore sustav kuglastog oblika, promjera do 150 000 godina svjetlosti, koji obuhvata sustav Kumovske Slame.

[1] galaktički, grč. = mlijećni.

To se očituje u tome, što te objekte vidimo podjednako u svim smjerovima, samo preteže strana neba, gdje je središte sustava, u području Strijelca. Taj veliki kuglasti sustav tvori sa sustavom Kumovske Slame, t. zv. *veliki galaktički sustav*. Ukupni broj zvijezda u velikom galaktičkom sustavu cijeni se na više od 100 milijarda.

Sunce leži nešto, oko 50 godina svjetlosti daleko, izvan ravnine Kumovske Slame, a bliže rubu sustava nego središtu, od kojeg je daleko do 30 000 godina svjetlosti.

Veliki galaktički sustav odvojen je ogromnim razmacima od spiralnih i eliptičnih maglica, jer su najbliže među njima udaljene gotovo milijun godina svjetlosti. Te su maglice dakle *vangalaktički sustavi,* posebni zvjezdani otoci u svemiru, potpuno odvojeni i nezavisni sustavi ogromnih dimenzija, od kojih se svaki sastoji bez sumnje od milijarda zvijezda.

Već se rano pomišljalo, da je možda i naš galaktički sustav u stvari jedna spiralna maglica i da bi se kao takva prikazao motritelju, koji bi ga gledao iz daljine od milijuna godina svjetlosti. S time bi bilo u skladu shvaćanje, da se čitav galaktički sustav vrti oko središta u području Strijelca, na što nas vodi podrobno ispitivanje gibanja zvijezda. Sunce bi se kod te rotacije gibalo brzinom od blizu 300 km u sekundi. Ispitivanje promjera vangalaktičkih maglica pokazalo je, da je galaktički sustav znatno veći od svih tih maglica, ali su novija istraživanja obzirom na interstelarnu apsorpciju u ravnini Kumovske Slame tu razliku znatno umanjila, jer se onda slabiji sjaj vrlo dalekih objekata svodi na apsorpciju, a ne na udaljenost. Time izlaze dimenzije galaktičkog sustava manje.

Galaktički sustav sa svoja dva bliska pratioca, oba Maghellanova oblaka (udaljena oko 100 000 godina svjetlosti), tvori zajedno sa nekim vangalaktičkim maglicama posebnu *lokalnu grupu.* Naznatnije među maglicama lokalne grupe su maglica u Andromedi (M 31) i maglica u Trokutu (M 33). U tim su maglicama lokalne grupe nađene Cefeide (oko 500), nekoliko nepravilnih i dugoperiodnih promjenljivih zvijezda, te nove zvijezde i supernove (u svemu je nađeno oko 150 novih zvijezda, od toga 30 supernova). Bliže spiralne i nepravilne maglice dale su se djelomično rastaviti na pojedine zvijezde pomoću golemih modernih dalekozora i dugotrajnim fotografiranjem. Osim toga su nađeni otvoreni i kuglasti skupovi. Kod dalekih eliptičnih maglica, koje vidimo s brida, često se

opaža tamni rub (Slike 126. i 129.), što potpuno odgovara znatnoj apsorpciji kod galaktičkog sustava u ravnini Kumovske Slame. Gusta jezgra Andromedine maglice odgovarala bi predodžbama o središtu galaktičkog sustava. Tako je u svim tim objektima nađena velika sličnost s odnosima u našem galaktičkom sustavu, što uvelike potvrđuje mišljenje, da su galaktički sustav i spiralne, vangalaktičke maglice srodni sustavi nebeskih tijela.

VI. DIO

KOSMOGONIJA

1. ZADATAK KOSMOGONIJE

Geologija nas uči, da je Zemlja — jedno nebesko tijelo — u davnoj prošlosti bila drugačija, nego što je danas, da su se tokom milijuna godina na njoj dogodile velike promjene. Vidjeli smo, da i na samom nebu opažamo posvuda promjene, samo su one redovno vrlo spore. Iz svih ovih promjena moramo nužno zaključiti, da su i nebeska tijela i njihovi sustavi podvrgnuti mijenjanju, da imaju svoj razvitak, svoju prošlost i budućnost, različitu od sadašnjice.

Ona grana astronomije, koja se bavi razvitkom nebeskih tijela i načinom, kako su mogli iz ranijih stanja nastati sustavi nebeskih tijela, kao što je na pr. Sunčev sustav, zove se *kosmogonija.* Ona se ne može oslanjati sasvim na iskustvo, jer ga ne možemo imati o stanjima nebeskih tijela prije milijarda godina. Ipak kosmogonija nije upućena ni na samo spekulativno mišljenje, već ona može polaziti od sadašnjeg stanja nebeskih tijela i njihovih sustava, kako je utvrđeno astronomskim opažanjima, i pomoću zakona mehanike i fizike ispitati, iz kakvih se ranijih stanja materije i njezinog gibanja moglo sadašnje stanje razviti, kakove su se promjene zbivale u vječnom gibanju materije tokom milijarda godina.

Prve misli čovjeka o postanku svijeta poznajemo u obliku fantastičnih »kosmogonskih priča«, koje potječu iz najstarijeg doba, doba prvobitne zajednice. Čovjek se bori sa neprijateljskim prirodnim silama i naiđe na nadmoćne sile, kosmičke sile i njihove odraze u zemaljskom zbivanju; on nastoji, da im uđe u trag, ne bi li ih, ako im upozna prirodu, ublažio. Ovo ga nastojanje vodi i na misli o ustrojstvu i postanku svijeta; ali kako znanja o tim silama nema, upućen je na maštu, koja gdjekad nadovezuje i uz koje zrno stvarnog opažanja.

Kad se uslijed nadmoći jednih rodova nad drugima stvaraju klase, nadmoćnim se prirodnim silama pridružuje još nadmoć vladajuće klase, koja ravna sudbinom ljudi. Sada čovjek i nadmoćne prirodne sile personificira, predstavlja ih sebi kao razumna bića, stvaraoce i upravljače svijeta, bogove. Saobraćaj s bogovima preuzima svećenička kasta; ona taj svoj položaj posrednika između bogova i ljudi, posrednika, koji jedini znaju, kako se bogovima ugodi i njih ublažuje, iskorišćuju za duhovno porobljavanje ostalih ljudi; svećenička kasta, da svoj povlašteni položaj, a ujedno i vlast vladajuće klase, s kojom je povezana, utvrdi, izgrađuje svoje znanje u dogmatičke vjerske sisteme, a u te sisteme uklapa i kosmogonske priče o postanku svijeta, prilagođene potrebama vjerskog sistema. Na taj način ove naivne priče, rođene u mraku neznanja, postaju nepovredivim dogmama. Tako je iz babilonskih kosmogonskih priča nastalo biblijsko učenje o stvaranju svijeta, koje su kasnije kršćanske crkve prenijele u zapadni kulturni krug, a koje je kroz stoljeća, podržavano od crkve, kočilo razvoj kosmogonske znanosti.

Znanstvene kosmogonske teorije nijesu ni stari Grci znali stvoriti. Njihovi filozofi prirode bili su materijalisti, »rođeni dijalektičari, dijalektičari od prirode«, oni su polazili s gledišta, da se u prirodi »sve stalno mijenja, stalno postaje i prestaje. Ali ovo posmatranje, iako točno obuhvata opći karakter cjelokupne slike pojava, nije dovoljno, da objasni pojedinosti, iz kojih je sastavljena ta cjelokupna slika; a dok to nijesmo u stanju, nijesmo načisto ni s cjelokupnom slikom. Da bismo upoznali te pojedinosti, moramo ih izdvojiti iz njihove prirodne ili historijske cjeline i ispitivati svaku za sebe, prema njenoj prirodi, njenim posebnim uzrocima, učincima i t. d. Ovo je prije svega zadatak prirodnih nauka . . .« (F. Engels, Anti-Dühring, I. Opći pregled). — Ovom zadatku nijesu bile dorasle prirodne nauke na onom stepenu razvitka, koje su dostigle kod Grka. Vidjeli smo već ranije (III. 1.), kako grčka fizika nije mogla podržavati ni Aristarhov heliocentrični sistem.

Sholastična nauka i kruta vlast crkve u feudalnom poretku nijesu dale, da se kosmogonsko mišljenje razvije u srednjem vijeku.

Tako istom razvitak prirodnih nauka u zadnja 4 stoljeća, a naročito izgradnja opće i nebeske mehanike u 18. i 19. stoljeću, pa astronomskim opažanjima stečena spoznaja, da fizikalni zakoni utvrđeni na Zemlji vrijede i u svemiru, stvara mogućnost *znanstvene kosmogonije na osnovi astronomskih opažanja.*

Od svih problema kosmogonije najviše je pobude dao za razmišljanje i najviše je zanimao ljude postanak Sunčeva sustava, koji nam je i najbolje poznat. Način, kako se gibaju nebeska tijela u Sunčevu sustavu, pokazuje vrlo značajne pravilnosti. Veliki planeti i velik broj planetoida gibaju se oko Sunca, na putanjama, kojima ravnine ne odstupaju mnogo od jedne osnovne ravnine, a ta se približno podudara s ekvatorom rotacije samog Sunca. Smisao, u kojem se okreće oko Sunca ovaj veliki broj tijela, za sva je jednak i isti je kao smisao okretanja Sunca oko osi. Planeti imaju satelite, kojih se i ravnine putanja i smisao revolucije opet pretežno podudaraju s osnovnom ravninom Sunčeva sustava i s glavnim smislom okretanja u Sunčevu sustavu, a u istom smislu vrte se i planeti oko svojih osi. To se podudaranje gibanja moglo razviti tek kod tijela zajedničkog porijekla, pa ako su danas Sunce, planeti i sateliti odvojena tijela, ona nijesu morala biti uvijek odvojena.

2. NEBULARNA HIPOTEZA

KANTOVA TEORIJA. Osnovna kosmogonska hipoteza, nastala u novom vijeku, bila je *nebularna hipoteza.* Po njoj su sva tijela Sunčeva sustava sačinjavala u pradavnim vremenima jedno jedino suvislo tijelo, vrlo rijetko kao maglica (odatle i naziv nebularna hipoteza), koje je ispunjalo cijeli prostor od Sunca do najdaljih planeta. 1755. iznio je filozof K a n t kosmogonsku teoriju, po kojoj je pramagla, iz koje su nastali sustavi, kao što je Sunčev, bila isprva bez ikakvog sređenog gibanja. Zbog nejednakosti privlačne sile njenih različitih elemenata počela su se stvarati mjestimična zgušćenja, koja su onda djelovala gravitacijom na čestice i u većim daljinama. Čestice bi se prema ovim središtima gravitacije gibale ravno, ali ih je međusobno sudaranje prisililo, da se približavaju središtu kružeći oko njega u jednom smislu. Tako je nastala rotacija pramagle u jednom smislu oko centralnog tijela najveće gustoće, a rotaciju istoga smisla prenijele su čestice i na centralno tijelo, kad su u to tijelo padale. Od centra najveće privlačne sile nastalo je tijelo najveće mase — Sunce, od svih sporednih centara planeti, koji moraju radi prevladavanja jednog smisla okretanja u pramagli opisivati putanje u istom smislu oko Sunca. Slično su nastali i sateliti. Ovaj svoj kosmogonski sistem prenosi Kant i u daleki svemir, te zamišlja

čak i jedno »centralno sunce«, oko kojega se okreću sve zvijezde stajačice.

Kantova teorija, koja obiluje u mnogim pojedinostima lijepim i plodnim idejama, neprihvatljiva je iz više razloga, od kojih je glavni nedostatno tumačenje postanka rotacije: po zakonima mehanike ne može u jednom sustavu bez rotacije djelovanjem unutrašnjih sila nastati rotacija.

Velika je zasluga Kanta, što je prvi načeo problem razvitka svemira na osnovi mehanike. »Kant je počeo svoju karijeru time, što je Newtonov stabilni Sunčev sistem i njegovo — kad je već bio dat čuveni prvi podstrek — vječito trajanje rastvorio u historijski proces: u postanak Sunca i svih planeta iz rotacionog kretanja jedne maglene mase...« (F. Engels, Anti-Dühring, I. Opći pregled).

LAPLACEOVA TEORIJA. 1796. iznio je poznati astronom L a p l a c e, nezavisno o Kantu, znanstvenu teoriju postanka Sunčeva sustava na osnovi nebularne hipoteze u svom djelu »Exposition du système du monde«. On zamišlja pra-materiju u obliku usijane atmosfere Sunca, koja je dopirala prije postanka Sunčeva sustava do krajnjih planetskih putanja. I gušća jezgra—Sunce, i njena atmosfera već su rotirale; Laplace ne ispituje postanak rotacije iz kojeg drugog oblika gibanja materije, nego način kako se iz tog okretanja postepeno razvio Sunčev sustav. Usijana se atmosfera ižarivanjem ohlađivala, uslijed toga se stezala, a radi toga je sve brže rotirala. Time je rasla centrifugalna sila, te je u izvjesnom času centrifugalna sila na ekvatoru postala jednaka gravitaciji jezgre, pa se kod daljnjeg stezanja dio ekvatorske materije odvojio u obliku koluta, koji se dalje okretao u istom smislu. Glavna se nebularna masa međutim dalje stezala, pa je ubrzavanjem rotacije došlo do ponovnog odvajanja koluta na ekvatoru. Niz koluta, koji su se tako postepeno stvarali iz nebularne materije, postao je osnovom stvaranja planeta. Čim se negdje u kolutu radi nestabilnosti stvorilo gušće mjesto, kolut se raskinuo i ostala materija koluta sve se više skupljala oko tog gušćeg dijela, te je nastao planet, koji je nastavio kružiti u istom smislu oko centralnog tijela. Vanjski dijelovi koluta gibali su se brže nego unutrašnji (jer su dalji od osi), a uslijed toga dobio je planet stvoren iz tog koluta rotaciju u istom smislu kao rotacija koluta. Ohlađivanjem, stezanjem i ubrzavanjem rotacije planeta odvajali su se u nastavku razvitka i od planeta koluti i dali osnovu za postanak satelita. Laplaceova teorija dala je vrlo zornu i skladnu sliku postanka Sunčeva

sustava i razjašnjuje neke glavne osobine tog sustava: mali ekscentricitet i mali nagib putanja glavnih planeta i mnogih satelita, podudaranje smisla rotacija i revolucija i neke druge.

Bolje upoznavanje Sunčeva sustava i izgradnja mehanike i fizike iznijela je mnoge i osnovane prigovore Laplaceovoj teoriji, tako da se ona danas ne može održati u dosadanjem obliku. Ako uračunamo rotacije i revolucije svih tijela Sunčeva sustava, uzevši u obzir udaljenosti pojedinih tijela od Sunca, možemo naći brzinu rotacije pra-Sunca, jer se po zakonima mehanike taj ukupni iznos rotacije ne može promijeniti unutrašnjim silama. No pokazalo se, da je ta rotacija prespora, a da bi moglo doći do odvajanja ekvatorskih koluta. Osim toga je nagib Sunčeva ekvatora od nekoliko stupnjeva prema osnovnoj ravnini sustava nerazjašnjen, kao i pomanjkanje sploštenosti kod samog Sunca. Otkriće pak planetoida, a u zadnje vrijeme i najdaljeg planeta Plutona sa putanjama velikog nagiba i ekscentriciteta, retrogradna gibanja mnogih satelita, brzina revolucije Marsovih satelita — sve je to sve više slabilo osnove Laplaceove teorije. Napokon je i priroda Saturnova koluta, koji je Laplaceu služio kao očit primjer postanka jednog satelita, takova, da je taj kolut prije dokaz protiv Laplaceove teorije.

3. NOVIJI RAZVITAK KOSMOGONIJE

FIZIKALNE OSNOVE. Matematska i fizikalna ispitivanja Laplaceove teorije u novije vrijeme pokazala su, da rotacijom pra-Sunca nije mogao nastati Sunčev sustav onako, kako to Laplace zamišlja.

Ponajprije postoji bitna razlika u razvoju tijela, koje rotira, prema tome, imamo li tijelo jednolike gustoće kao što je tekućina (t. zv. *tekući model*), ili pak tijelo, kojemu gustoća naglo raste prema središtu, tako da imamo vrlo gustu jezgru, opkoljenu rijetkom atmosferom (t. zv. *Rocheov model*). Ako se tijelo, koje rotira, steže uslijed ohlađivanja, onda će sve bržom rotacijom u svakom od ta dva slučaja tijelo prolaziti sasvim drugačijim nizom oblika ravnoteže između sile gravitacije i centrifugalne sile.

Zatim su pojave plime i oseke na Zemlji uputile na podrobnije ispitivanje te pojave i kod drugih nebeskih tijela. Ako se dva tijela znatne mase približe, nastat će radi međusobne gravitacije na tim tijelima na obje strane dva brijega plime u

pravcu spojnice središta tih tijela, u koliko su ona tekuća ili plinovita. No kod znatnih masa, kad se vrlo približe, može doći djelovanjem plime i do odvajanja materije iz tih bregova plime, koja onda zgušćivanjem može dovesti do postanka novih tijela.

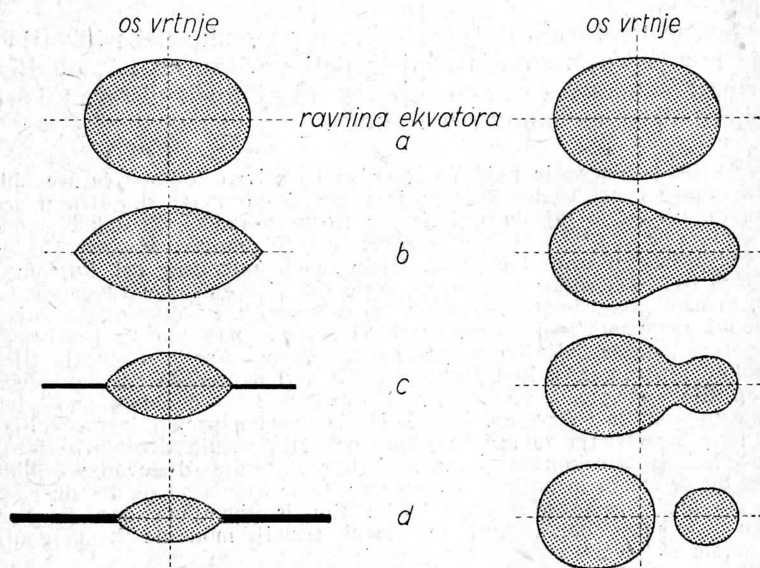
Napokon je oživjela i stara zamisao sudara tijela povodom otkrića novih zvijezda, za koje se neko vrijeme držalo, da nastaju sudarom sa oblakom svemirske prašine; pomišljalo se i na sudar — ili barem vrlo blizi susret dviju zvijezda, iako je to vrlo rijedak slučaj radi ogromnih međusobnih udaljenosti zvijezda.

Sve je to dovelo do nove slike o postanku nebeskih tijela, te je novija kosmogonija uspjela dati vrlo zornu i razumljivu teoriju postanka većine nebeskih tijela i njihovih sustava, makar da još nailazi na mnogo poteškoća.

Poslije Laplacea je najprije R o c h e istraživao, kakove će sve oblike ravnoteže proći tijelo, kojemu je pretežni dio mase skupljen u središtu. Po njemu je taj slučaj i nazvan Rocheov model. Za tekući model pokazao je J a c o b i, da kod izvjesne kritične brzine rotacije rotacioni elipsoid prelazi u troosni elipsoid, tijelo sa tri nejednake osi, kojemu je najkraća os u osi rotacije, a ostale dvije različite dužine u ravnini ekvatora; tu nema više simetrije obzirom na os rotacije. Početkom 20. stoljeća je veliki matematičar i astronom P o i n c a r é nastavio ta ispitivanja, te je našao, da se daljnjim povećavanjem brzine rotacije u slučaju tijela jednolike gustoće, t. j. kod tekućeg modela, oko najduže osi na jednom mjestu tijelo stegne, a na kraju osi odeblja, tako da dobijemo tijelo kruškastog oblika (t. zv. apioid). G. H. D a r w i n prenio je svoja iskustva kod istraživanja zemaljske plime na slučaj uskih dvojnih zvijezda, kakove su spektroskopske (na pr. β Lyrae), gdje djelovanjem plime dolazi do deformacije obiju komponenata, te je istraživao oblike tih tijela uzevši u obzir njihovu rotaciju. Svim tim ispitivanjima dao je onda J e a n s konačni oblik, koji je glavni temelj moderne kosmogonije zvjezdanih sustava.

POSTANAK ZVIJEZDA, DVOJNIH ZVIJEZDA I ZVJEZDANIH SUSTAVA. Iz pra-magle, kaosa, koji je jednoliko ispunjavao svemirski prostor uz izvanredno malu gustoću, nastale su raspadanjem pojedine plinovite kugle ogromnih razmjera, upravo veličine i mase vangalaktičkih maglica. Gustoća je u tim plinovitim kuglama, koje su rotirale, naglo rasla prema središtu, te imamo slučaj Rocheova modela (sl. 128 lijevo). Stezanjem uslijed ohlađivanja ubrzavala se rotacija, kugla se splosnula u rotacioni splošteni elipsoid (sl. 128 a). Daljnjim ubrzavanjem rotacije nastane tijelo lećastog oblika s oštrim ekvatorskim rubom (sl. 128 b), a od izvjesne kritične brzine tijelo

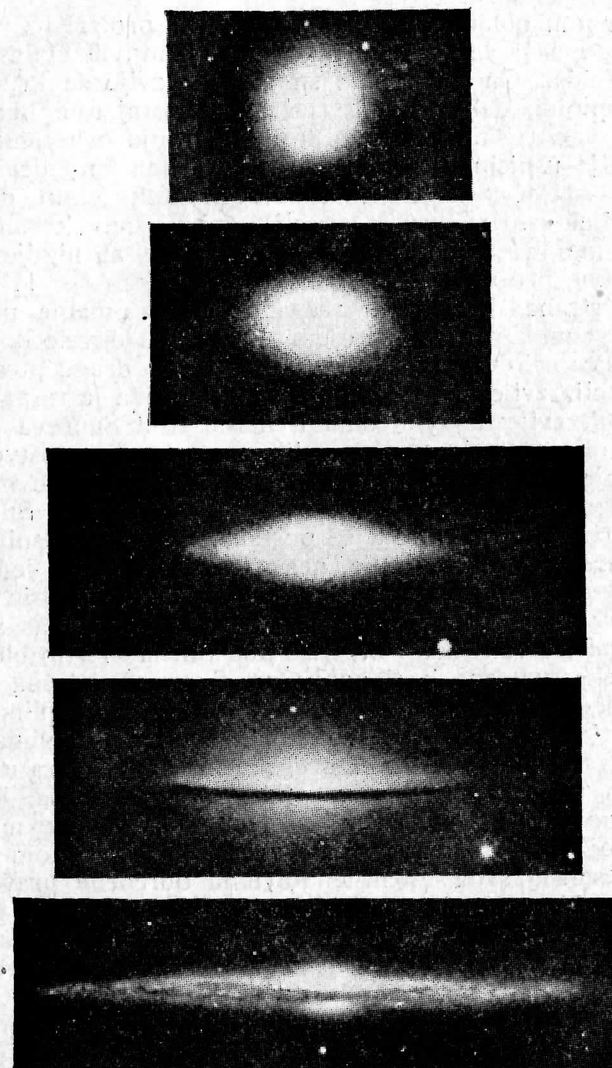
će izbacivati materiju duž tog ruba, ali polako i neprekidno, te će se ta materija raširiti u ravnini ekvatora, dok jezgra postaje sve manja (sl. 128 c, d). I danas vidimo kod spiralnih vangalaktičkih maglica sve te prelazne oblike u raznim stadijima razvoja (sl. 129). Okolne maglice izazvale su na takovoj maglici plimu, radi koje će se izbacivanje materije u ravnini ekvatora pojačati na dva suprotna kraja gušće jezgre, te će uslijed rotacije nastati dva spiralna kraka vangalaktičke maglice, omotana oko guste jezgre. Tako su nastale spiralne maglice.



Sl. 128

Stalnim ohlađivanjem i zgušćivanjem materije izbačene u ravnini ekvatora nastale su u spiralnim krakovima manje kugle: skupovi zvijezda i pojedine zvijezde pretežno jednolike gustoće. Tu imamo sada slučaj tekućeg modela. Rotacijom zvijezda jednolike gustoće prolazi niz ravnotežnih oblika prikazanih u slici 128 desno: ubrzavanjem rotacije tijelo se ponajprije splosne u rotacioni elipsoid; kod izvjesne kritične brzine jedna se os u ravnini ekvatora produži i nastane troosni elipsoid. Pri daljnjem povećavanju brzine rotacije stezanjem

oko najduže osi nastane tijelo kruškastog oblika, apioid (sl. 128 b). Taj je oblik nestabilan, te nužno dovodi do raspadanja u dva podjednaka elipsoidalna tijela time, što se prvotno suženje



Sl. 129

(grlo) sasvim stegne (sl. 128 c, d). Tako se tumači postanak uskih dvojnih zvijezda. Daleko razmaknute, vizuelne dvojne zvijezde teško da su nastale ovim načinom, kako su potanja ispitivanja pokazala.

Teorijom oblika, kojima tekući model prolazi uz sve bržu rotaciju, tumači Jeans i postanak promjenljivih zvijezda, napose Cefeida.. On uzima, da su Cefeide zvijezde kruškastog oblika, apioidi, dakle dvojni sustavi u nastajanju. Ima dosta činjenica i teorijskih rezultata, koji potvrđuju ovu zamisao, ali ni nju nije uspjelo dovesti u sklad sa svima činjenicama.

POSTANAK SUNČEVA SUSTAVA. Kako smo do sada vidjeli, djelovanjem same rotacije dobili smo kosmogoniju spiralnih maglica, zvijezda i dvojnih zvijezda, ali nigdje nije se mogao time protumačiti postanak sustava, kao što je Sunčev. S jedne strane dobili smo raspadanjem pra-magle plinovite kugle ogromnih razmjera, koje su rotacijom dovele do spiralnih maglica, čitavih zvjezdanih svjetova. S druge strane sve brža rotacija zvijezda jednolike gustoće dovela je raspadanjem do dvojnih zvijezda podjednakih masa. Kod Sunčeva sustava naprotiv oko centralnog tijela velike mase kruži mnoštvo malih tijela, koja sva zajedno imaju svega 1/750 Sunčeve mase. Iz tih razloga smatra Jeans, da su sustavi, kao što je Sunčev, u svemiru rijetka pojava, čiji se postanak ne da objasniti samo općim načelima kosmogonije, nego je potreban još jedan poseban utjecaj. To je prema Jeansu zamisao sudara, koju je prvi izrekao već B u f f o n polovicom 18. stoljeća. Danas više ne mislimo na izravan sudar, nego se pod tim misli vrlo bliz i brz prolaz neke zvijezde kraj našeg pra-Sunca. Privlačna sila te zvijezde je pri tome izazvala na pra-Suncu golemu plimu. Djelovanjem te plime, pridošle rotaciji pra-Sunca, otrgnula su se oba brijega plime na jednoj i drugoj strani pra-Sunca u obliku ogromnih mlazova, golemih protuberanca. Zvijezda, koja je prošla vrlo blizu pra-Sunca i od njega otrgnula dio materije, dala je toj materiji zakret oko Sunca u jednom istom smislu, naime u smislu svog gibanja. Ravnina određena pravcem, u kome je došla zvijezda, i središtem Sunca je osnovna ravnina planetskog sustava i time se lako objašnjava kut priklona Sunčeve osi rotacije prema toj ravnini. Zgušćivanjem nastali su iz otrgnute materije planeti, planetoidi i neki sateliti. Ostatak materije kao rijetki svemirski oblak oko Sunca svojim je otporom smanjio isprva veliki ekscentricitet putanja velikih planeta na današnje vrlo male vrijednosti. Neki su sateliti, koji se kreću

u ravninama ekvatora pojedinih planeta (na pr. kod Jupitera i Saturna), nastali vrlo vjerojatno rotacijom tih planeta; drugi opet, koji se kreću retrogradno (na pr. vanjski sateliti Jupitera i Saturna), po svoj su prilici uhvaćeni planetoidi. Posebno mjesto zauzima Zemljin Mjesec i svojom relativnom veličinom i svojom putanjom, te je vjerojatno nastao istodobno sa Zemljom.

I pored velikog broja zvijezda u galaktičkom sustavu, te vrlo dugog vremena od postanka tog sustava bliski su susreti dviju zvijezda vrlo rijetki događaji, pa bi i sustavi ove vrste kao Sunčev bili u svemiru rijetki.

No najnoviji razvoj astronomije ne potvrđuje ovu Jeansovu hipotezu o postanku Sunčeva sustava, nego je i protiv nje iznio mnoge činjenice i teoretske prigovore. Pokazalo se nadalje, da kod nekih najbližih zvijezda (na pr. dvojne zvijezde 61 Cygni) ima tamnih pratilaca, kojima je masa već uporediva sa masama planeta, što ukazuje na to, da sustavi poput Sunčeva sustava nisu osamljeni. Osim toga u svim dotadanjim kosmogonskim hipotezama nije došla do izražaja atomska fizika. Uzmu li se u obzir rezultati novije atomske fizike, dolazi se do novih pogleda u kosmogoniji, kao što je na pr. teorija sovjetskog akademika F e s e n k o v a. Po tim bi teorijama uslijed atomskih procesa u unutrašnjosti zvijezda, kao što je Sunce, dolazilo do naglih provala usijane plinovite materije, koja bi se širila oko centralnog tijela kao maglica (slično kao kod novih zvijezda, samo možda u manjem omjeru). Iz te izbačene materije stvorili bi se kasnije planeti i druga manja tijela.

S druge strane nisu iscrpljene ni sve druge mogućnosti tumačenja postanka Sunčeva sustava. Tako sovjetski akademik Š m i t zamišlja postanak Sunčeva sustava iz oblaka svemirske meteoritske prašine, u koji je Sunce zašlo tokom svoje galaktičke rotacije. Ta se teorija bitno razlikuje od prijašnjih u tom, što su po njoj planeti nastali iz svemirske prašine, a ne iz Sunca.

Rješenje problema kosmogonije Sunčeva sustava ostavljeno je daljnjem razvoju znanosti. Ipak kosmogonija danas izlazi iz pesimistične faze, u kojoj se našla pod utjecajem raspadanja građanskog društva u 20. stoljeću, ona nalazi u novoj fizici nove mogućnosti i izvore energije svemirskih procesa. Ideja, da se sve u svemiru razvija, da u sustavima nebeskih tijela, kako ih danas vidimo, gledamo razne faze procesa razvoja, osnovna je ideja savremene kosmogonije, ona je ugrađena u osnove naprednog naziranja na svijet.

ALFABETSKI POPIS GLAVNIH ZVIJEŽĐA NAŠEGA NEBA

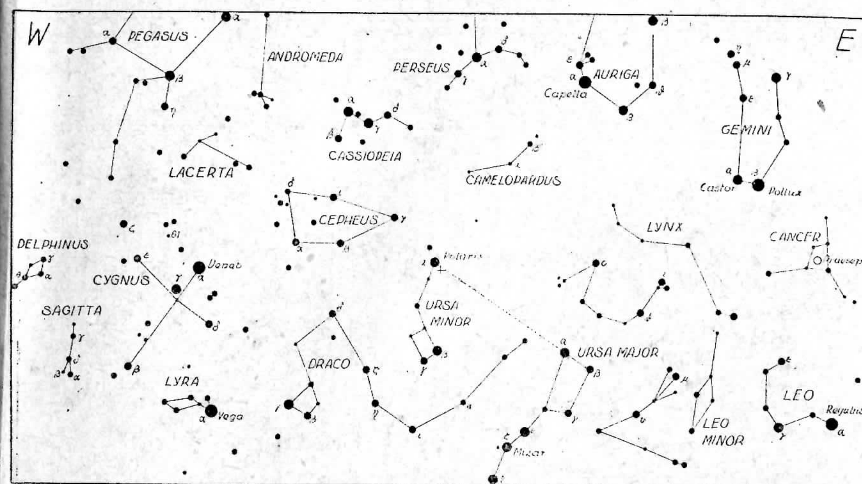
Andromeda	Andromeda	Lacerta	Gušter
Aquarius	Vodenjak	Leo	Lav
Aquila	Orao	Leo minor	Mali Lav
Aries	Ovan	Lepus	Zec
Auriga	Kočijaš	Libra	Vaga
Bootes	Volar	Lynx	Ris
Camelopardus	Žirafa	Lyra	Lira
Cancer	Rak	Monoceros	Jednorog
Canes Venatici	Lovački Psi	Ophiuchus	Nosač Zmije
Canis maior	Veliki Pas	Orion	Orion
Canis minor	Mali Pas	Pegasus	Pegaz
Capricornus	Jarac	Perseus	Perzej
Cassiopeia	Kasiopeja	Pisces	Ribe
Cepheus	Cefej	Piscis Austrinus	Južna Riba
Cetus	Kit	Pleiades	Vlašići (skup)
Columba	Golub	Praesepe	Jasle (skup)
Coma Berenices	Berenikina Kosa	Puppis	Kormilo
Corona (borealis)	(Sjeverna) Kruna	Sagitta	Strelica
Corvus	Gavran	Sagittarius	Strijelac
Crater	Vrč	Scorpius	Škorpion
Cygnus	Labud ili Sjev. Križ	Sculptor	Kipar
Delphinus	Delfin	Serpens	Zmija
Draco	Zmaj	Sextans	Sekstant
Eridanus	Eridan	Taurus	Bik
Gemini	Blizanci	Triangulum	Trokut
Hercules	Herkul	Ursa maior	Veliki Medvjed
Hyades	Hijade (skup)	Ursa minor	Mali Medvjed
Hydra	Vodena Zmija	Virgo	Djevica

Tumač kartama neba

● zvijezde veličine 1
● „ „ 2
• „ „ 3
• „ „ 4
· „ „ manje od 4
○ skup zvijezda ili maglica
+ sjeverni nebeski pol

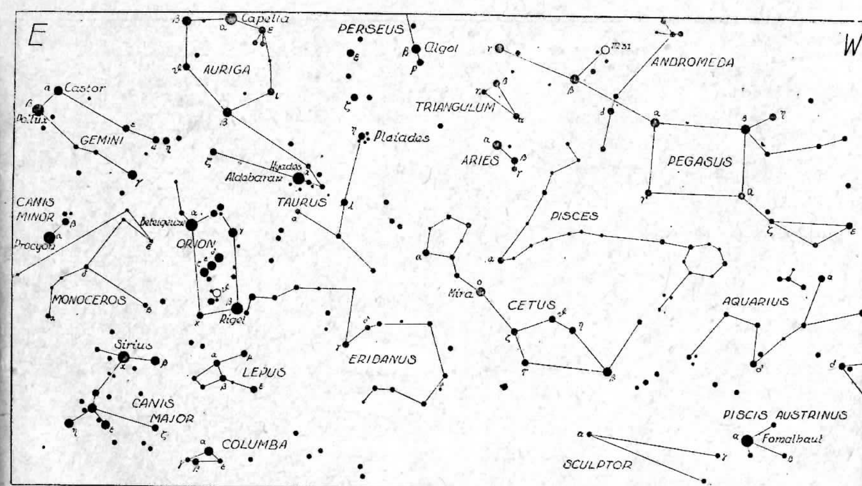
Karte neba mogu se upotrijebiti, osim u naznačeno vrijeme, i u drugim mjesecima, samo treba za svakih mjesec dana kasnije uzeti vrijeme 2h ranije, odnosno za svakih mjesec dana ranije vrijeme 2h kasnije.

Karta neba I.



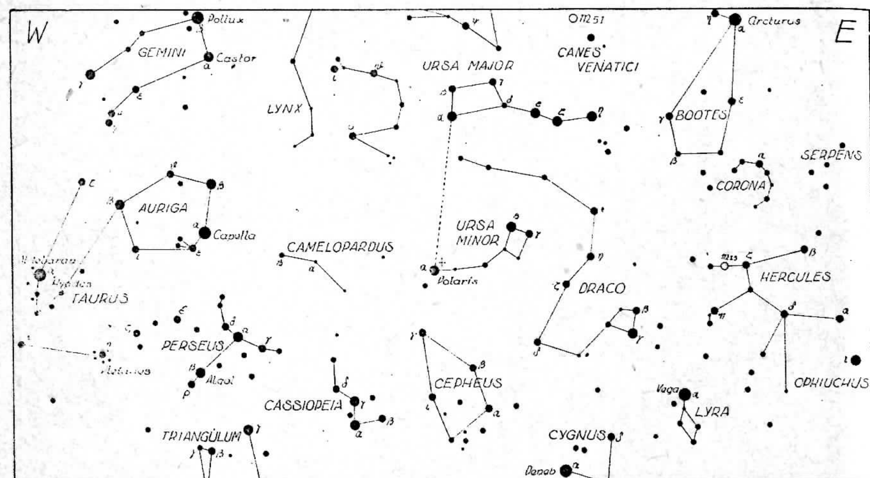
1. decembra, 22h, pogled na sjever

Karta neba II.



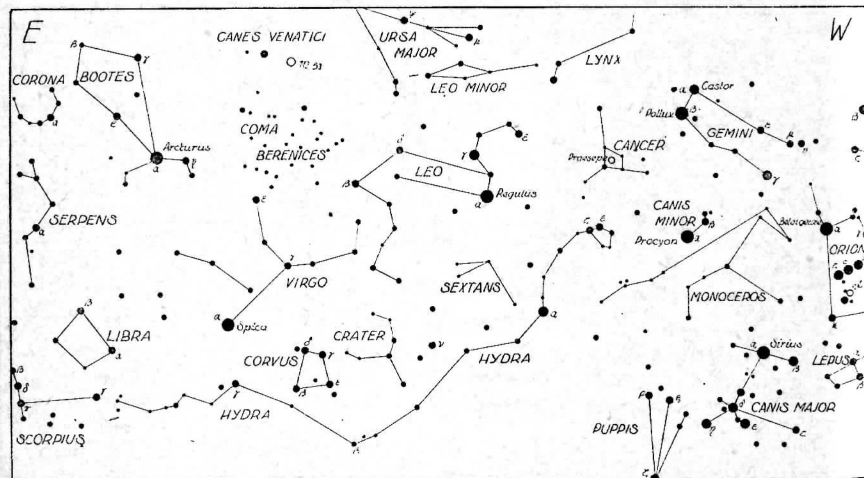
1. decembra, 22h, pogled na jug

Karta neba III.



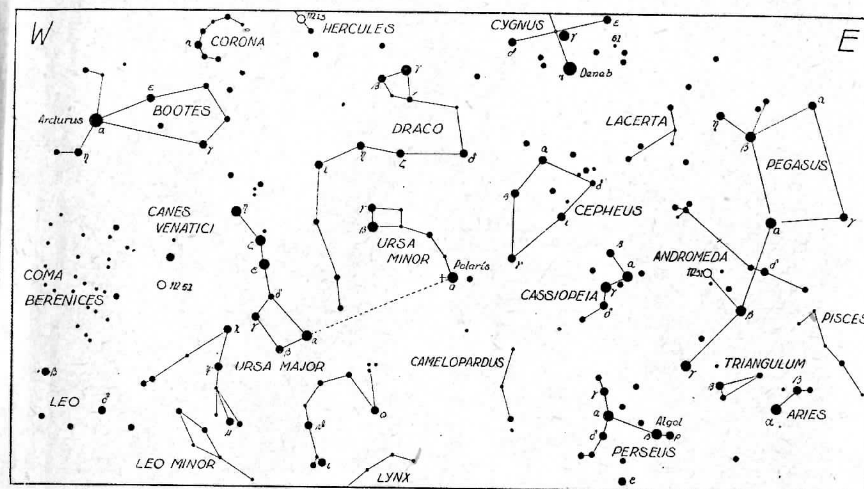
1. aprila, 22^h, pogled na sjever

Karta neba IV.



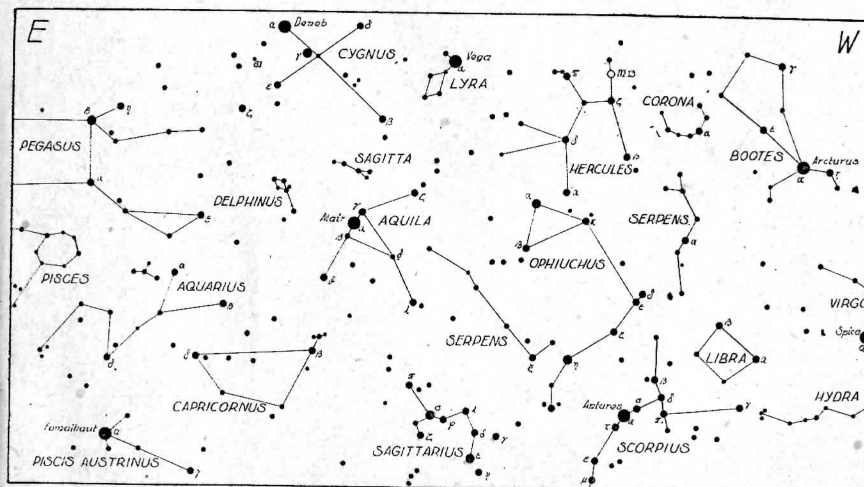
1. aprila, 22^h, pogled na jug

Karta neba V.



1. augusta, 22^h, pogled na sjever

Karta neba VI.



1. augusta, 22^h, pogled na jug

zdavač Nakladni zavod Hrvatske
Za izdavača *Grigor Vitez*
Tehnička redakcija *Vilko Gliha*
Tisak Nakladnog zavoda Hrvatske, Zagreb
Naklada 12000

Cijena Din 34.—

3229-II.